雙　月　刊

# 核能簡訊

NUCLEAR NEWSLETTER

福島勇士現身說法 日本福島事故時的狀況報告

中國中低放射性廢棄物最終處置設施介紹

加拿大放射性廢棄物處置計畫的啟示

法國將於2018年削減核電占比

中、俄浮動式核電廠已近完工、試營運



核能簡訊 NUCLEAR NEWSLETTER

NO.169 雙月刊

DECEMBER 中華民國一〇六年十二月號

## 熱門話題



## 封面故事



## 專題報導



## 讀者論壇



## 核能脈動



## 核能新聞



## 藝術人生



## 科普一下



出版單位：財團法人核能資訊中心
地　　址：新竹市光復路二段一〇一號
電　　話：（03）571-1808
傳　　真：（03）572-5461
網　　址：http://www.nicenter.org.tw
E-mail：nicenter@nicenter.org.tw
發 行 人：朱鐵吉
編輯委員：李四海、汪曉康、陳條宗、郭瓊文、劉仁賢、謝牧謙（依筆畫順序）
主　　編：朱鐵吉
文　　編：鍾玉娟、翁明琪、林庭安
執　　編：羅德禎
設計排版：長榮國際　文化事業本部
地　　址：台北市民生東路二段 166 號 6 樓
電　　話：02-2500-1175
製版印刷：長榮國際股份有限公司　印刷廠
行政院原子能委員會敬贈　廣告
台灣電力公司核能後端營運處敬贈　廣告

## 編者的話

11 月 11 日，在德國波昂舉行聯合國氣候變遷綱要公約第 23 次締約國大會（COP23），美國總統川普因為對氣候變遷議題興趣缺缺，故而缺席；中國則趁勢而起，派了超過 80 人的代表團熱烈與會。會議中認為，以再生能源取代燃煤發電，將成為全球共同的計畫。然而，國際知名環保人士麥可・謝倫伯格日前受邀來台，參加由氣候先鋒者聯盟與中華民國核能學會所舉辦「能源策略與環境氣候國際論壇」。謝倫伯格表示，他以前也希望再生能源能取代火力發電，「但再生能源不是解方」，因為有不夠穩定、價格太高、儲能電池不實際等問題。

由核能研究所能源經濟及策略研究中心所公布「我國民眾願付電價與社會意向」調查結果：國人雖然情感上相當重視環境議題，但實際進行電力消費時，電力的「供應品質」與「電價便宜」仍為首要考量，但過低的電價容易造成電力浪費。今年（2017）諾貝爾經濟學獎得主－芝加哥大學布斯商學教授理查・塞勒認為，行為經濟學可以運用在很多領域，包括氣候變遷也與行為經濟有關。他有個很有趣的論點：當你告訴民眾他們的用電量比鄰居還多，往往可以誘導他們改變用電行為，減少耗電。

能源的科技開發和廣泛應用技術的進步，協助人類延長壽命；數位時代也正在改變人們的生活習慣，但這一切「方便」終究得付出高昂代價。現代生活愈來愈無法離開電力，電力消耗速度迅速攀升，現在的用電量約是 50 年前的 10 倍；發電產生的數十億噸溫室氣體，也讓地球溫度愈來愈高，專家預估 2100 年全球平均溫度將升高 4 度。為減緩暖化問題，歐盟花數十億歐元推動使用再生能源，以取自玉米、葡萄渣或樹木等的原料，希望解決困境。但後來卻發現，每年要用掉 12 萬公升柴油製造生質能源氣體，反而額外產生二氧化碳。單單在德國，為製造生質能源，一年就增加了 250 萬噸溫室氣體。

2011 年的福島事故震撼全球，重挫核能產業，尤其是鄰近日本的臺灣更是風聲鶴唳。日前，核能資訊中心特邀當時的福島 50 勇士之一、現任日本東京電力公司部長的高儀省吾先生來台做第一手的見證與分享。高儀先生秉持著專業背景與救災勇士的經歷，與當地民眾持續溝通，協助居民清理家園，推動福島地區各項復興活動。對於福島事故造成臺灣核電發展的停滯，他感到非常抱歉，因此藉由此次機會到臺灣分享他的特殊經驗與心路歷程，實屬難得。

# 50 勇士現身說法 **日本福島事故時的狀況報告**

文・編輯室



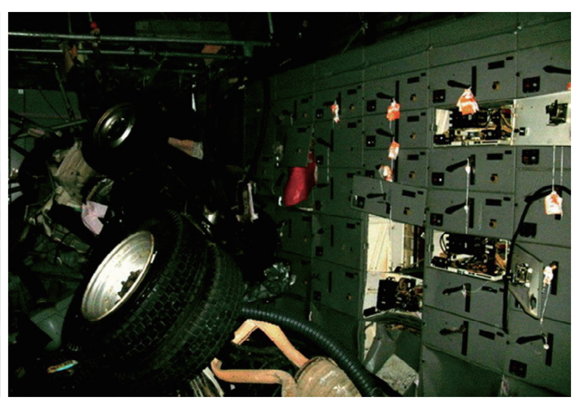

▲右 2 為高儀省吾部長

為瞭解日本福島事故發生當時，在福島第一核電廠內的事故現場，工作人員進行搶救的實況，相關應變經驗與處置方式是非常寶貴的教材，可做為我國相關領域工作人員的因應參考，核能資訊中心邀請當時的福島 50 勇士之一、現任日本東京電力公司部長的高儀省吾先生來台做第一手的見證與分享。

高儀省吾（Seigo Takagi）現任東京電力公司福島第一核電廠廢爐除污＆除役公司風險溝通與公眾事務部部長。2011 年 3 月 11 日福



▲強震造成福島一廠內道路嚴重受損



▲海嘯將車輛沖入廠房內，增加救災難度

島事故發生時，高儀部長當時擔任品保經理，正身處於事故現場。在遭遇強震、海嘯的接連襲擊、電廠全黑的狀況下進行緊急處置與搶救作業，經過不眠不休、最危急的 72 小時後，高儀部長所接受的輻射曝露的有效劑量低於 50 毫西弗（mSv）。其親身經驗與處置過程堪稱是一本活教材，非常值得我國相關作業人員深入瞭解探究。

## 還原事故現場

2011 年 3 月 11 日 14：46 日本發生震度 6 強的強震，隨後出現海嘯，當時福島一廠 1 至 3 號機是正常運轉發電的狀態，4 號至 6 號機則處於定期檢查大修中。強震發生後，1 至 3 號機發揮自動停機的安全功能。

控制室內所有的值班人員都依照演習訓練時的要求立刻先穿防護衣，到停車場集合、進入免震棟暫時避難，等海嘯過後大家再隨著當時的廠長吉田昌郎回到控制室拿著手電筒檢查儀電設備，並聽從吉田廠長的指揮緊急應變。

高儀部長表示，1 號機在發生事故當時的確有許多外界的指令干擾救災行動，例如來自東京電力總公司，以及首相內閣的諸多命令意見分歧，以致吉田廠長的指揮作業受到影響。當時的首相菅直人曾要求東電公司停止灌海水，不過，最終還是吉田廠長下令持續灌注海水冷卻爐心，才避免事故進一步擴大。

福島電廠的緊急應變指揮中心位於免震棟內，分成數個班。事故當時，大家聽從吉田廠長的指令，分頭進行蒐集機組現況資料，同時與總公司視訊。但是總公司的指令紛亂，加上首相也參與意見，多頭馬車莫衷一是。高儀部長認為，應將決策權交在現場指揮官的手上，畢竟最能掌握事故狀況的人才能決定如何應變。

高儀部長為福島事故做出結論：

- 福島一廠遭受了大地震。但是，根據運轉的數據，可以說電廠在海嘯到來之前都能按照安全設計運轉。目前並未發現地震造成重要的安全系統、結構與設備上的破壞。
- 抵達福島一廠的海嘯高度（洪水高度）為 14 至 15 公尺，遠高於設計假定的高度，因此整個設施被淹沒。
- 1 至 4 號機組幾乎全部喪失電源，其中包括因海嘯而損失的 125 伏特直流電源，只剩



▲電廠人員在免震棟內進行緊急應變作業分工



▲福島一廠內電源完全喪失，工作人員竭盡一切能力找到汽車電池、手電筒等臨時電源，使控制面板能勉強操作

第 5 台緊急柴油發電機（DG 6 B）功能正常，使 5 號組和 6 號機組得以倖免於難。

・海嘯發生後，消防車、汽車電池、手電筒等可以使用的電源極為有限。在這種情況下，東京電力公司的應急小組盡了最大的努力減低 1 至 3 號機組的損害情形。

・即使是未受損傷的 5 號和 6 號機組，東京電力公司也做了極大的努力使機組進入穩定狀



▲高儀省吾部長等人赴核一廠參訪交流

態。

## 平時緊急應變訓練有沒有效？

在參訪核一廠時有人員詢問高儀部長，在真正發生事故時平時的緊急應變訓練有沒有發揮應有的效果？高儀部長認為有其功效。因為平時地震演練時是在停車場集合，再至免震棟應變，這些都派上用場。311 強震來襲時，值班人員不慌不亂，第一時間穿上防護衣、帶著手電筒，到指定的地點集合待命，而且因為集合的停車場海拔高度約 35 公尺，並未受海嘯影響。

不過高儀部長指出，平時演練時未考量到通訊中斷的問題，通訊中斷導致資訊傳遞出現困難，無法立即取得機組全面完整的現況，資訊不足便影響救災的方向與因應措施。此外，也未將交通阻斷的情況納入因應措施，以至於 40 公里外的救援物資因交通問題，必須經過數小時、克服重重阻礙才能取得，這都是訓練時未能預料的情況。

## 會不會怕？

當我們詢問高儀部長當時的感受如何？會不會怕？有沒有想逃離現場？高儀部長說，當然怕，因為不知道機組的情況究竟如何，控制室一片漆黑，大家想盡辦法蒐集汽車上的電池，希望將微弱的電力連接上儀控設備進行應變處理。事故發生後將近 72 個小時高儀部長都持續留在現場救災，他的妻子一直發送訊息要他返家，他能理解家人的擔憂，因為大家都很信服吉田廠長，即使有人心裡害怕或是想要逃離，但是日本人的集體行動慣性，還是讓他們選擇留下，跟隨現場指揮官的指令，竭盡一切努力面對困境，一步一步解決問題。

## 日本為什麼還想繼續發展核能？

因為替代核能的能源成本代價太高，日本的能源政策預計 2030 年時，核能占比為 20%-22%，這是經過專業人員精心計算的結果，民眾大都能接受專家的建議。



▲現在福島一廠內布滿了污水貯存槽



▲福島一廠在事故後復舊的情形

經過福島事故的洗禮，所有以往未考量的缺失都加以改善，安全等級再升級，現在日本核能工業從業人員都有信心，可以做到全世界最嚴格的安全程度。

## 現在的福島

目前福島一廠 1-3 號機反應爐內溫度約攝氏 30 度，4 號機內燃料則已取出。廠區環境輻射劑量約低於 1 毫西弗 / 時，都處於安定、安全的狀態。

工作人員每天抽出約 100 噸受汙染的汙水，避免流經廠區，原本一天有 400 噸汙水量，現在已經減少至 170-200 噸 / 天。

在地下 30 公尺深處攔阻汙水流入海洋，運用低溫攝氏 -15 至 -30 度冷凍技術，每一公尺插入一支冷凍管，形成一座長 1.5 公尺、深 35 公尺的凍土壁，工程已經於近日完成，可以有效阻止汙水流經廠區進入海洋。而貯存汙水的大型貯存桶目前已有 580 座，預期未來將會布滿整個廠區。

放射性廢棄物暫時貯存庫目前則有 9 座，預計將建 12 座，可能還不敷使用，因此亟需減容。而用過核燃料乾式貯存桶在福島事故發生前採室內存放，事故之後改為室外存放，更易於操作使用。

目前福島一廠內作業人力約 5,000-6,000 人，最多時曾達 7,000 餘人，有大約 55% 人力來自福島地區。2016 年 10 月廠內一座 9 層

樓的大型休憩中心完工，其中有淋浴間、超商、食堂，很重要的是員工終於可以吃到現煮的熱食，並提供作業人員良好的休息空間。

高儀部長的宿舍位於大熊町，屬於返回困難地區，目前仍有 9 萬人處在避難中。東京電力員工在事故後持續不斷協助當地居民清掃、除污，採購當地農產品，推動復興福島的各項工作。

高儀部長表示未來 30 年的重要工作是：核燃料殘渣的處理、輻射防護、除汙，以及放射性廢棄物管理。

## 勇士的歷練，難以想像的心路歷程

高儀部長目前擔任東京電力公司福島第一核電廠廢爐除污＆除役公司風險溝通與公眾事務部部長，秉持著專業背景與救災勇士的經歷，與當地民眾持續溝通，協助居民清理家園，推動福島地區各項復興活動。對於福島事故造成台灣地區核電發展的停滯，他感到非常抱歉，因此藉由此次機會來到台灣分享他的特殊經驗與心得，希望有所貢獻。

此次高儀部長特地前往核一廠與龍門電廠參訪，因為核一廠 1 號機與福島一廠的 1 號機機型相同，且多年前兩廠已締結為姊妹廠，經常舉行交流活動；而龍門電廠屬進步型沸水式反應爐（ABWR）與東京電力公司旗下的柏崎刈羽電廠機型相同。

在核一廠除了參觀了正在大修的 2 號機反應爐區，彼此也交換了福島事故發生時現場緊急應變的經驗，氣氛非常熱烈。核一廠蔡正益廠長感慨地表示，這種經過生死交關的勇士歷練，外人很難想像其中的心路歷程，能面對面交流實在非常珍貴。

隨後在龍門電廠，高儀部長參觀廠內的生水池與海水泵室，令他印象深刻。

龍門電廠的生水池位於海拔 117 公尺高處，貯有 4.8 萬噸自來水，約有 19 個標準游泳池容量，可供應 60 天的民生用水，可同時灌滿 1、2 號機反應爐 6 次。如果發生緊急狀況，在無電力供應下，可藉由重力將水注入反應爐作為冷卻之用。

而龍門電廠的海水泵最特別的安全設計，是 12 座海水泵各自有獨立的房間，且每個泵室都設有防水氣密門，不必擔心海嘯侵襲。高儀部長參訪之後感嘆的說，如果福島一廠有龍門電廠這些安全設施，應該就不會有後來的福島事故了。

高儀部長也為處於封存狀態中的龍門電廠同仁帶來好消息，10 月 4 日柏崎刈羽電廠 6、7 號機已經通過日本原子力規制委員會的安全審查，獲准可以進行重啟的程序，接下來只要地方政府同意，就可以正式重新啟動。這對正在進行資產維護管理的龍門電廠而言，不啻為一劑振奮人心的強心針。高儀部長祝福龍門電廠能盡早啟封，發出寶貴的電力。

最後，高儀部長表示，百聞不如一見，歡迎大家前往福島電廠以及周邊地區參訪，他將竭盡所能的安排。高儀部長的簡報資料與錄影檔，可至核能資訊中心網站觀看：http://www.nicenter.org.tw/index.php。

註 1：高儀部長返日後已轉至東電設計株式會社（為東京電力另一子公司）核能發電處任職。

註 2：本文福島電廠相關照片來源均為東京電力公司。

# 能源與**人的壽命**

文・宮野廣　譯・朱鐵吉



能源是供應人民生活中不可或缺的能量，一個人平均能源使用量多的國家，國民平均壽命大都比較長。

每個人能源使用量和壽命的關係大致分為二類，一類是能源貧乏的國家，另一類是能源使用量大的國家。能源充足的國家，能源使用量和壽命有密切關係，固然壽命的延長尚有其他許多原因，富裕的社會能源使用量增加，的確關係到人民壽命的增加。

人的最長壽命約可達 120 歲，平均壽命則受到生病或其他因素的影響，導致壽命的減短。生病後要克服病情以及治療疾病，最重要的莫過於利用能源，使用更多的醫療技術，以及應用先進的藥物治療疾病，這方面可說是和能源科技息息相關。也就是說能源使用量的程度，影響到人的生命，即每人平均使用能源量增加，壽命也會隨之延長。

但是過度的使用能源也有缺點，例如人類攝取過量的營養，導致肥胖產生疾病而使壽命減短。因此要擴大生活圈的多樣化，適當的節制使用能源與攝取食物，多多增加有益身心的工作與運動，使得能源使用量適當化，可增進人類的壽命。

## 日本人的壽命延長和社會的發展

目前日本人的平均壽命是男性 81 歲、女

性 87 歲，平均 84 歲。通常豐裕的能源供給並不是平均年齡延伸的重要因素，但是能源科技進步惠及人類生活水平甚多。70 年前，和現在的狀況比較相差甚巨。

二戰之後的日本經濟在 20 年間急遽增長，人口也急速增加，伴隨著能源使用量漸增，壽命也延長。就以表 1 的內容可以瞭解，1965 年至 1990 年約 20 年間經濟成長快速，國民所得急速增加，1990 年勞動人口為最高峰，至 2005 年人口逐漸遞減。

約自 2005 年起能源消費量開始停滯，福島核災後，能源消費更大量減少，但是國民所得還是持續增長，這完全是節省能源技術全面革新的成果。節省能源同時又可以得到同樣效果，實為節能的重大成就。

## 機械化對勞動的貢獻

古代能源來自薪柴、水力、風力、獸力和人力。男性的主要工作是農業、山地作業和漁業等，每日勞動工時約 10-12 小時。使用能源後，男性戶外工作漸漸減少，1970 年起每年勞動工時約 2,250 小時，至 2015 年減少至 1,720 小時。女性的主要工作以家事為主，由於現代機械化的發達，交通非常便利，大部分的工作由電腦取代。家庭內很多作業都已機械化，例如洗衣機就是典型的例子。因機械化的成效，男性每日平均約有 4.5 小時、女性約有 8 小時的餘裕時間。這些時間可以觀賞電視或電影、外出旅行，做些自己有興趣的娛樂來打發時間。

19 世紀日本人的平均壽命約 50 歲，男性平均壽命可能增加約 10 歲，最高可增加 20 歲；女性平均約能增加 15 歲，唯有少數可增加 30 歲。能源的使用、醫療高度化的進步，很多疾病因而得到治癒，使得國民平均壽命得以從 50 歲提高到現今的 80 歲，這些亦歸功於能源科技的貢獻。機械化的技術急速進步，使得現代的平均壽命延長至 80 歲以上，甚至活到百歲以上者增加很多。

## 結語

能源的有效使用是長壽的主因，以日常生活的重點，能源的本來效果，對人類的移動貢獻最大，舉凡汽車、火車、飛機和火箭等，能使人類到處甚至在太空中移動。而研發很多先進的醫療器材，協助治療疾病，以及帶動工業、農業、商業及科學工藝的飛躍進步，人類壽命的健康和延長，都是得益於能源科技開發和廣泛應用技術的進步。

資料來源：

1. 日本關連省庁白皮書
2. 宮野廣，” エネルギと人の寿命 ”Energy Review, July 2017 :Vol. 37, No.6 P54~55

**表 1. 過去 70 年日本社會富裕狀況的變化**

| | 1945 年 | 1970 年 | 2000 年 | 2015 年 |
|---|---|---|---|---|
| 人口（萬人） | 7,200 | 10,470 | 12,680 | 12,700 |
| 壽命（歲） | 44 | 72 | 81 | 84 |
| 能源消費（艾焦耳） | 1.5 | 8.8 | 15.7 | 13.5 |
| 實質 GDP（兆日圓） | 約 50 | 約 180 | 約 460（註） | 約 520 |
| 人均 GDP（萬日圓） | 10 | 70 | 415（註） | 418 |

註：1990 年的值約 400 兆日圓，增長幅度從這年開始減緩。艾焦耳 EJ ＝ $10^{18}$ 焦耳。

# 你願意花多少錢**買電？**

文・編輯室




我國核能研究所能源經濟及策略研究中心（核研所能經策略中心）於 2017 年 10 月 31 日公布「我國民眾願付電價與社會意向」調查，結果顯示，國人雖然情感上相當重視環境議題，但實際進行電力消費時，電力的「供應品質」與「電價便宜」仍為首要考量。

為瞭解我國民眾的電力願付價格與電力消費意向，核研所能經策略中心自 2015 年起，連續 3 年執行嚴謹的「我國民眾願付電價與社會意向」調查。由於國內電價長期受管制的影響，國人已習慣長期偏低的電價環境，針對現行的電力服務，近 3 年國人願付電價約落在 2.91 元 / 度～ 2.7 元 / 度。

核研所能經策略中心表示，民眾若在資訊揭露且享有購電選擇權的虛擬電力交易市場中，2015 年至 2017 年的願付電價可提升至

**2016 年各國平均電價比較**

**國際能源總署(IEA)2017年發布之最新統計資料與亞鄰各國電價資料**

106年11月8日更新

| 住宅用電 | | | | | | 工業用電 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 排名 | 國 別 | 台幣元/度 | 排名 | 國 別 | 台幣元/度 | 排名 | 國 別 | 台幣元/度 | 排名 | 國 別 | 台幣元/度 |
| 1 | 墨西哥 | 2.0599 | 17 | 荷 蘭 | 5.6918 | 1 | 挪 威 | 1.3706 | 17 | 丹 麥 | 3.1749 |
| 2 | **臺 灣** | **2.5679** | 18 | 盧森堡 | 5.8673 | 2 | 瑞 典 | 1.9468 | 18 | 希 臘 | 3.2095 |
| 3 | 大 陸* | 2.6656 | 19 | 法 國 | 5.9061 | 3 | 美 國 | 2.1818 | 19 | 紐西蘭** | 3.2344 |
| 4 | 馬來西亞 | 2.7493 | 20 | 菲律賓 | 5.9336 | 4 | 盧森堡 | 2.2293 | 20 | 土耳其 | 3.4141 |
| 5 | 挪 威 | 3.3763 | 21 | 希 臘 | 6.1630 | 5 | 墨西哥 | 2.2774 | 21 | 奧地利 | 3.4238 |
| 6 | 南 韓 | 3.8475 | 22 | 紐西蘭 | 6.4041 | 6 | 芬 蘭 | 2.3624 | 22 | 法 國 | 3.4764 |
| 7 | 美 國 | 4.0553 | 23 | 英 國 | 6.4242 | 7 | **臺 灣** | **2.4491** | 23 | 比利時 | 3.6300 |
| 8 | 匈牙利 | 4.0624 | 24 | 瑞 士 | 6.5696 | 8 | 波 蘭 | 2.6750 | 24 | 愛爾蘭 | 3.8342 |
| 9 | 土耳其 | 4.2802 | 25 | 日 本 | 7.1597 | 9 | 荷 蘭 | 2.7596 | 25 | 智 利 | 4.0278 |
| 10 | 新加坡 | 4.4212 | 26 | 奧地利 | 7.2234 | 10 | 馬來西亞 | 2.8407 | 26 | 菲律賓 | 4.0333 |
| 11 | 以色列* | 4.7317 | 27 | 愛爾蘭 | 7.8717 | 11 | 匈牙利 | 2.8695 | 27 | 英 國 | 4.0475 |
| 12 | 波 蘭 | 5.0177 | 28 | 葡萄牙 | 8.4479 | 12 | 捷 克 | 2.8889 | 28 | 葡萄牙 | 4.0501 |
| 13 | 捷 克 | 5.0406 | 29 | 義大利 | 8.9456 | 13 | 以色列* | 2.9416 | 29 | 瑞 士 | 4.3148 |
| 14 | 智 利 | 5.4711 | 30 | 比利時 | 9.3422 | 14 | 南 韓 | 2.9911 | 30 | 德 國 | 4.5643 |
| 15 | 芬 蘭 | 5.4899 | 31 | 德 國 | 10.6556 | 15 | 新加坡 | 3.0410 | 31 | 日 本 | 5.1027 |
| 16 | 瑞 典 | 5.6295 | 32 | 丹 麥 | 10.6633 | 16 | 大 陸* | 3.1322 | 32 | 義大利 | 5.9872 |

註：1.表列數值原係以美元計價，台幣對美元換算匯率為1美元＝32.318台幣（2016年平均匯率）。
2."＊"為2015年資料，"＊＊"為2014年資料。
3.工業用電部分，新加坡採自選電力供應用戶（contestable consumers）之平均電價，包含工業及商業用戶。

3.13 元～ 3.2 元 / 度。因此，為實踐能源轉型策略並減緩能源轉型過程中可能的社會阻抗，政府應加速推動有感的電業改革，通過資訊揭露與電業改革開放，增進民眾對電價的合理認知。

國人願付電價受到氣候變遷風險、環境意識的影響，未來可以透過適當的資訊擴散提高國人的氣候變遷意識。而 81.8% 的受訪者認為該調查過程中所使用的互動式圖像化溝通可提升國人對電力議題的瞭解，也有 81.9% 的受訪者認為，政府單位未來可持續以類似本調查的執行方式，進行能源決策的社會溝通。

核研所能經策略中心進一步指出，在能源轉型策略的選擇上，不影響供電穩定、電價水準的「能源使用效率改善」、「自主節能」是國人支持度最高的選項。為此，從調查分析顯示，推動我國能源轉型與電業改革的過程中，需求端的願付電價與能源使用意向均值得政府給予更多的重視。相關資訊可參考核研所能源資訊平台（http://eip.iner.gov.tw/）。

## 各國電價大評比

依據國際能源總署（IEA）2017 年最新統計資料與亞洲鄰近各國電價資料，顯示 2016 年我國住宅電價為全球第 2 低，僅次於墨西哥；工業電價為全球第 7 低，只略高於瑞典、挪威、美國、盧森堡、墨西哥、芬蘭。而瑞典、挪威、芬蘭的工業電價可以如此低廉，主因是國內有充沛的水力，搭配核能；而美國則是自產大量的石油、天然氣，工業電價當然有本錢可以如此便宜。

我國缺乏自產能源，約 96%的能源必須

仰賴進口，而且是獨立島嶼的地理型態，無法與其他電網互連，我們實在沒有資格擁有全世界第 2 便宜的電價。但是，長年以來因政治因素的干預造成電價凍漲，過低的電價，更是造成電力浪費、節電成效不彰的主要原因。即使政府力推再生能源，呼籲民眾以較高的電價申請綠電，仍是反應冷淡。當初表示寧可因使用再生能源導致電價高漲也在所不惜的民眾，不知藏身何處？即使經歷了 815 大停電之後也無動於衷，認為不是備用容量不足的原因。

## 擁抱綠電代價幾何

經濟部已於近日完成第一份《綠電目標影響電價評估報告》，預估到 2025 年達成再生能源發電占比 2 成時，全民必須為購買綠電多花 7,600 億元，預估到 2025 年時電費累計要上漲近 2 成，平均每戶為綠電多付 3,000 元電費。

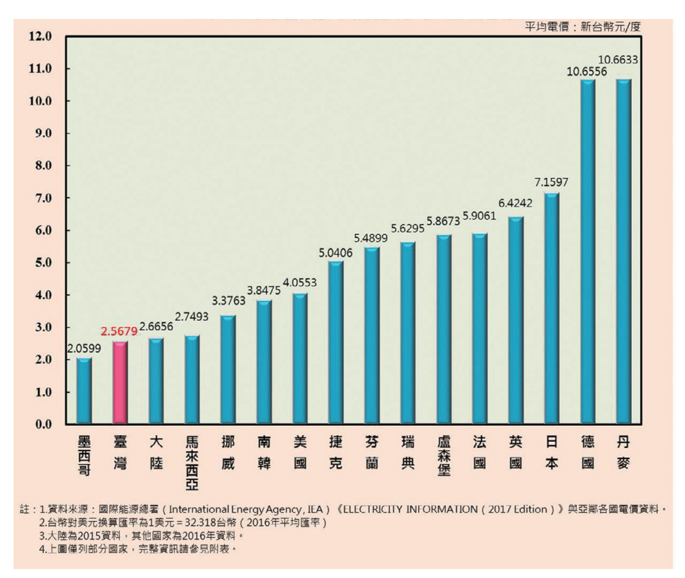
根據經濟部的《再生能源發展目標對電價影響報告》，在對未來 9 年收購再生能源總度數與價格進行分析後，預估到 2025 年再生能源發展基金規模須達 7,600 億元才足夠，平均政府每年要支出超過 217 億元收購綠電。

目前太陽能每度收購價為 4.8 到 6.4 元，風力則從 2.8 到 8 元不等，都遠高於現行每度售電價 2.5 元，再生能源基金就負責補貼台電等相關購買綠電與成本之間的差額。

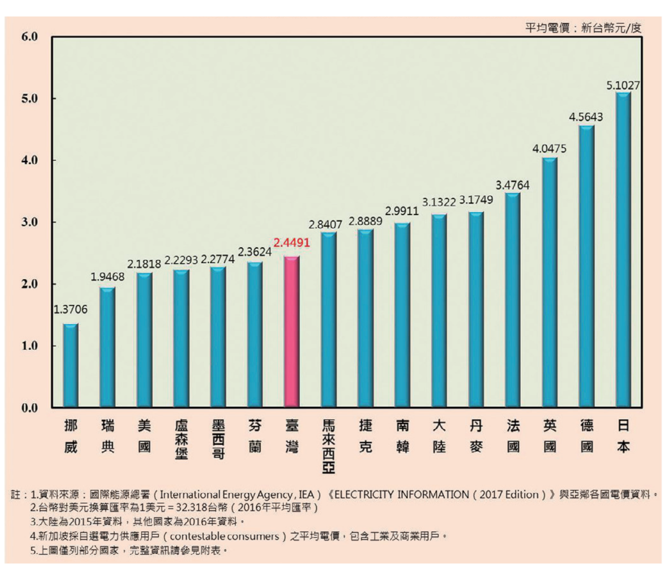
目前再生能源附加在電費中每度約 0.01 元，依據經濟部評估報告，隨著布建的裝置容量越來越大，支出購買金額將逐漸加大，到 2025 年目標達成的隔年，電費漲幅近 6%，每月電費多 68 元，屆時民眾 1 年多付 820 元。如以 9 年平均來算，每年電價約漲 2.08%，每度要附加 0.08 元，每戶每年電費多出近 300 元，累計 9 年共漲 19%，每戶家庭累積為購買綠電費多付 3,000 元。

能源局表示，電業法修正後，未來電價是依中央主管機關訂定公式計算，並經電價費率

**各國住宅用電平均電價比較圖**




**各國工業用電平均電價比較圖**



審議會審議後訂定，合理反映成本；另考量長期電價主要受其他外在因素（如燃料成本）影響，電業法規劃有電價穩定機制，減緩電價受燃料價格影響，避免電價大幅波動，同時以民生基本用電不漲價為政策方向。也就是政府仍將繼續以政治力干預電價「維持現狀」，令人憂心。

同時能源局強調，815 跳機停電事件主要是人為疏失，並非供電能力不足，即便重啟核電，仍無法避免這起事件造成的停限電情形。

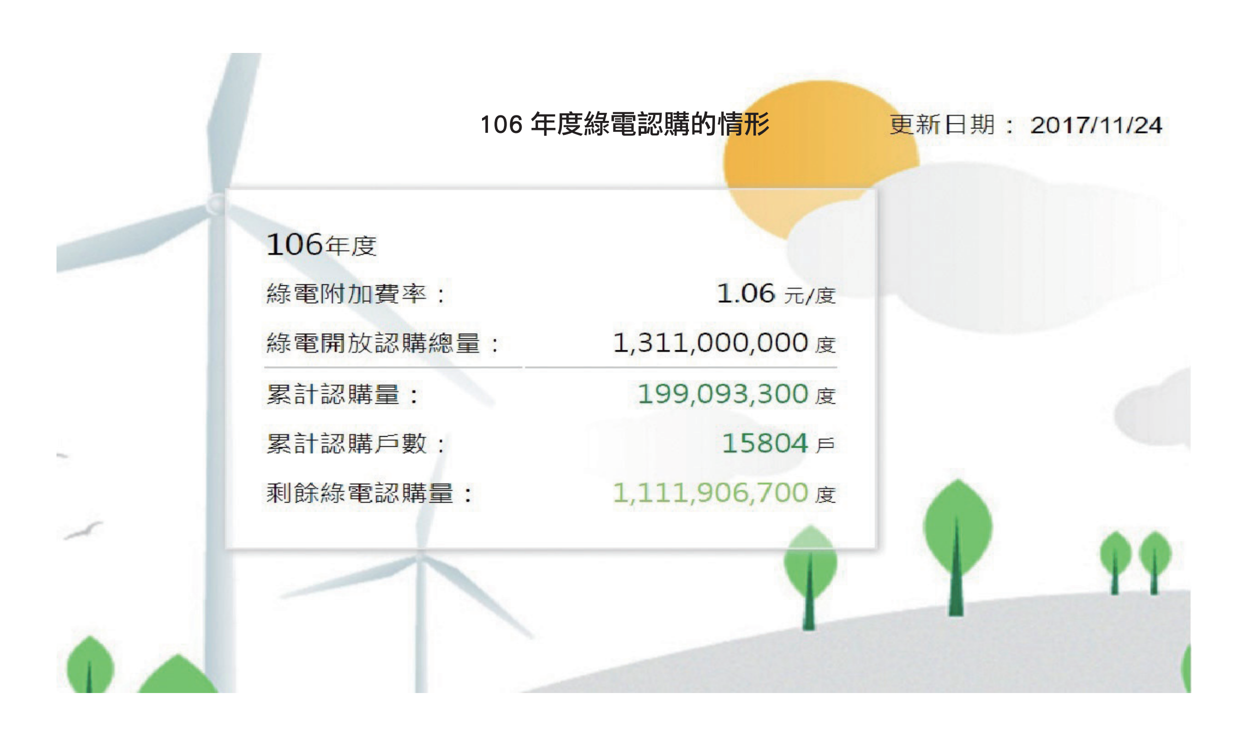
## 815 大停電之後 來自國際的呼聲

《經濟學人》雜誌在 815 停電後報導，停電對台灣的產業發展影響很大，包括國內經濟發展、外國投資意願等，表示沒有外資會願意到電力不穩的地方。

南韓於 10 月 20 日通過公民審議，高達近 6 成的南韓公民表態支持恢復興建新古里 5、6 號機兩座機組。南韓文在寅總統為了是否重啟這兩座機組，組成了「公論化委員會」，以審議式民調的方式，隨機選出 471 位「國民代表」，花了 3 個月時間了解核電廠存廢對安全、經濟及電費等面向的影響，集會聽取不同立場的專家意見，歷經多輪分組討論和大會討論後，舉行參與者的民調。結果出來，驚豔四方。

有 59.5%的民眾贊成續建新古里 5、6 號機，有 40.5%的民眾反對續建；有 53.2%的民眾認為未來應降低核能發電的比例，35.5%的民眾贊成維持現狀，另有 9.7%的民眾認為應擴大核電規模與比例。南韓政府已經宣布將依照多數意見執行，復工續建兩座核電機組。文總統先前曾多次倡導此種「審議民主」，這也是南韓政府首度讓民眾參與決定國家能源政策。

國際知名環保人士謝倫伯格（Michael



Shellenberger）10 月 23 日來台，參加能源相關的論壇時也向總統蔡英文發出公開信，呼籲台灣也用民主方式，決定台灣的能源走向以及核能的未來。

氣候先鋒者聯盟與中華民國核能學會共同舉行的「能源策略與環境氣候國際論壇」，邀請謝倫伯格與我國環保署前署長魏國彥對談，與會的專家還有日本學者杉山憲一郎及南韓學者朴商德。朴商德指出，南韓政府不能沒有任何原因就停建核電廠這種大型計畫，這將會使國家失去信用。

謝倫伯格表示，核能的碳排量少，其實本身就是乾淨能源。相比之下，傳統能源造成的碳排量與空氣汙染，對環境造成巨大影響。世界衛生組織統計，每年共 700 萬人死於空汙。

他透露以前也希望再生能源能取代火力發電，但再生能源不是萬靈丹，因為不夠穩定、價格太高、儲能電池不實際等問題。尤其台灣土地狹小、人口密集且 96% 能源仰賴進口，特別不適合大量使用太陽能及風力這些再生能源。

根據研究，台灣將需要再花費 700 億美元建立 617 座大型的太陽能電廠，才能替代現有核電電力。這些費用還不包括為了應付沒有陽光時必須儲存能源的高昂設備與土地成本。

謝倫伯格指出，若用化石燃料取代核電的缺口，已增加因為空氣汙染死亡的風險。2016 年耶魯大學的研究指出，以民眾曝露在不安全的空氣汙染比例來看，台灣可能是世界上最糟的 10 個國家之一。

謝倫伯格說，近年來台灣社會一直呼籲對台灣的核能未來進行公投。南韓最近進行的公民審議，就是建議總統文在寅如何處理興建中的兩部核電機組。他呼籲台灣也應考慮類似的民主做法。在公民審議過程中，民眾也可以理解基本且重要的事實，他相信台灣可以比南韓做得更好。

## 結語

看到南韓民眾在短短時間內以科學、民主的方式完成能源自主的壯舉，實在令人欽佩。躬身自省，我們除了因為害怕輻射，於是反對核能發電；害怕 pm2.5，於是反對燃煤；害怕噪音，於是反對風力發電機；害怕氣爆，於是反對天然氣輸送管經過我家門口。最後，我們除了反對，只剩反對。

電價除了一度電多少錢之外，隱身在電價背後的還有環境衝擊，包括空氣污染、土地利用等，以及與民生經濟相關產業的連動性。政治人物不能一味的凍漲電價討好百姓，而以其他電價穩定基金做調控，說到底，這還是納稅人的錢。而是應效法南韓，以理性、客觀的態度，發揮全民的智慧，運用民主的審議制度主導出真正合乎國計民生的結論。

資料來源：


1. http://eip.iner.gov.tw/
2. http://www.taipower.com.tw/content/new_info/new_info-d16.aspx?LinkID=14
3. http://www.taipower.com.tw/content/new_info/new_info-d31.aspx?LinkID=24
4. http://www.taipeitimes.com/News/taiwan/archives/2017/10/24/2003680945

# 中國中低放射性廢棄物**最終處置設施介紹**

文 • 編輯室

中國首批核電機組自 1990 年代開始運轉以來，核工業在十幾年間迅速發展，至今已有近 40 部機組在商轉，近 20 部機組在建設當中，在建規模保持世界第一；從最初只能自國外進口核電技術，至今已自主開發第三代核電技術「華龍一號」，甚至出口至國外。但是在如此高速發展的背景下，中國在後端處理建設的進度卻顯得有些落後，在 1996 年中國核電裝置容量僅有 2 兆瓩時，中國就已計畫興建西南、西北、華東、華南與北方，一共 5 座中低放射性廢棄物最終處置場，但至今日成功運轉的僅有 3 座，分別是位於廣東大亞灣的華南北龍處置場，甘肅 404 廠的西北玉門處置場，以及去年剛獲頒運轉許可的四川西南飛鳳山處置場。

距離中國首座自行設計、建設的核電廠——秦山核電廠第一期投入商轉 20 多年後到現在，計畫中的華東中低放射性廢棄物處置場場址仍未有著落，秦山核電廠已從當初的 30 萬瓩裝置容量，躍進至有 7 部機組運轉中、2 部機組擴建工程（方家山核電工程）、總裝置容量超過 600 萬瓩的大型核電基地，而像這樣大型的核電基地在中國共有 6 座，除了秦山之外分別是大亞灣（含嶺澳）、田灣、寧德、紅沿河以及陽江。相比之下，中國投入運轉的放射性廢棄物處置、處理設施較為不足，原因為在選址的過程中面臨到非技術性的問題——中國各地方政府僅希望在省內設立核電廠但不希望建立處置場。但由於廢棄物的數量仍不斷的增加，中國政府也因此制定相關法規，在核




▲ 中國核電場分布圖（截至 2017 年 9 月，圖片來源：中國國家核安全局）

發電廠運轉執照時也要求地方政府一同進行處置場相關規劃的工作，來避免這些非技術性的問題，目前也已在一些地方開始前期選址作業。

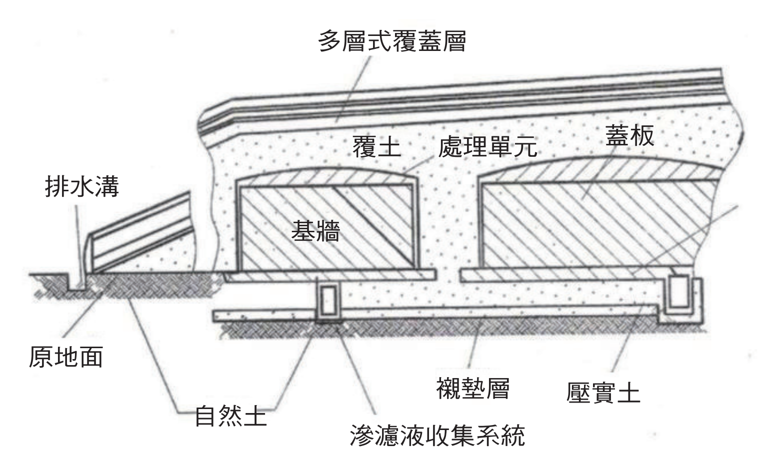
在核電廠發電過程中所產生如交換樹脂、殘渣廢液、衣物手套等的放射性廢棄物都屬於中、低放射性廢棄物，根據中國國家標準以及國際原子能總署（IAEA）的規定，這些中、低放射性廢棄物都需進行固化處理並裝桶，最終則需要置於「近（淺）地表處置設施」進行掩埋，防止放射性物質釋出至環境，並確保這些廢棄物可安全的貯存至少 300 年。

低放射性固體廢棄物的處理，在國際上通常採用焚燒（可燃部分所生成的灰燼體積僅為原體的 1/15）、壓縮（能壓縮部分一般可壓縮至原體積的 1/3-1/7），或不做處理，與採用蒸發處理後的中放射性廢液殘渣固化物一同當作中低放射性廢棄物，以掩埋的方式進行處置。

所謂的「掩埋」，是將中、低放射性廢棄物放置或貯存在接近地表的處置設施當中，待其中的放射性物質於處置設施中衰變至自然水平，約需要 300-500 年的時間。依據廢棄物中所含有的放射性比活度、核種半衰期與放射性類型，來決定其處置方式將採用近地表層（坟堆式）、地下層（壕溝式）內（淺層處置），或是置於地質結構層中（深層地質處置）。前者適用於處置中低放射性固體廢棄物，後者則是給用過核燃料或是在再處理過程中所產生的高放射性廢棄物。

中國所有的中低放射性固體廢棄物都必須依照《低中水平放射性固體廢物的淺地層處置規定》來進行處置，另外還附帶兩項要求，除了在處置場範圍內應有效地防止放射性核種在長時間內（以 300-500 年來考慮）以「不可接收的劑量」向環境釋出之外，在正常運轉與事故的情況下，以不同途徑釋出的放射性物質對民眾個人所造成的年有效劑量當量不得大於 0.25 毫西弗（mSv）限值。

處置場主要由處置單元、建築物（輔助設施、辦公室等）以及場區所組成，至於處置場場址的可行性，除了與廢棄物本身的類型、性質以及數量有直接關係之外，還與技術（土壤與場址特性、地域條件等）、經濟（資金籌措等）、社會（公眾對放射性廢棄物的了解與接受程度等），以及廢棄物產生地與處置場的距

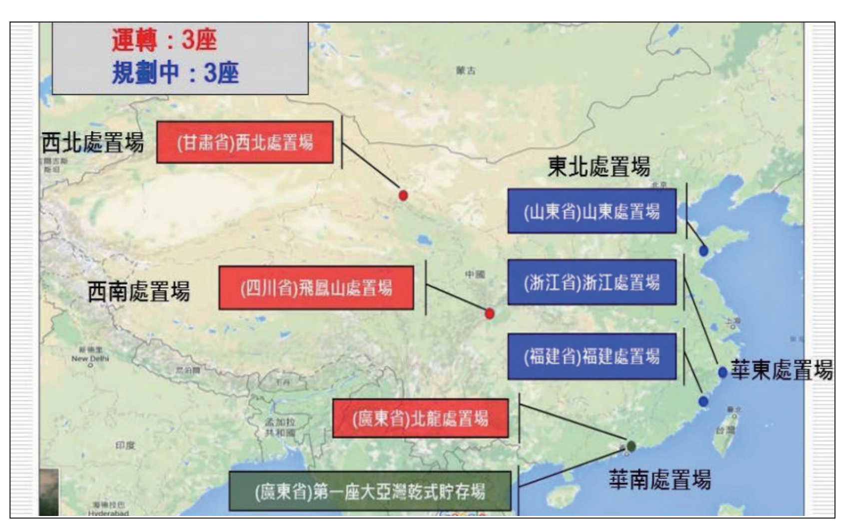


▲地上坟堆式淺層處置單元剖面圖，顯示其覆蓋層、處置單元、滲濾液體收集系統、墊層，以及地面排水系統等（圖片來源：西華大學）

**放射性廢棄物淺地層處置場選址特徵**

| 場址特性分項 | 要求條件 | 所需資訊 |
|---|---|---|
| 地震及區域穩定性 | 地震強烈度低<br>地區長期地質穩定 | 地區地震及地層構造、地應力、地面抬升、地面侵蝕速率等 |
| 地質及岩土特性 | 地質構造簡單、斷裂及縫隙不太成長<br>處置層岩石性質均勻、面積廣、厚度大、滲透率低<br>岩土具有較高吸附與離子交換能力 | 岩土礦物成分、膠體顆粒含量、濕度、空隙率、滲透率、吸附能力、力學性能等 |
| 工程地質 | 狀況穩定<br>建造費用低<br>能保證場地可長期運轉 | 避開崩塌、岩灘、滑坡區；泥石流區；活動沙丘區 |
| 水文地質 | 地質條件較簡單<br>最高地下水位在處置場底板之上，不與地下水相連<br>無洪水淹沒可能<br>對露天水源無汙染影響 | 附近河流、水溪、湖泊的流量、水位、流速等；地下水與地表水的水力聯繫；地區水資源利用狀況；土壤毛細上升高度 |
| 氣象 | 相互關聯地同時觀測氣象要素，求出其頻率分布<br>判斷產生長期環境條件有害影響的氣象資料 | 風速、風向、大氣穩定度、氣溫、濕度、降水量、蒸發量和霧等；颱風、大風、沙暴、暴雨等 |
| 地形地貌 | 有可利用的自然條件<br>土地搬運量少<br>有天然黏土層供襯裡與覆蓋使用 | 避開容易發生水汙染的窪地與山谷 |
| 社會、經濟及其他 | 避開文物古蹟與古生物化石區<br>避開人口密集區、公園和風景區<br>搬遷人口少<br>無不利於建廠的其他因素 | 查明地區現有交通運輸、供水、供電、土地使用與徵購以及未來發展等狀況 |

資料來源：西華大學環境工程系



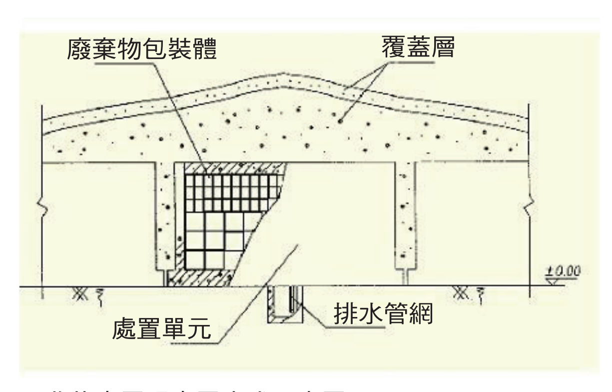

▲大陸中低放射性廢棄物處置場以及用過核燃料乾式貯存場分布圖（圖片來源：核能研究所）

離、土地使用狀況、規劃等因素有關，處置場的設計與管理方式則會因場址性質與條件而會有所調整。中國的處置場選址過程通常由 4 個階段組成，分別是：規劃選址、區域調查、場址特徵評估，以及廠址確立，選址主旨在最大的限度下減少永久性汙染源，確保可達成法規的安全要求，整個準則主要參考國際原子能總署（IAEA）的規範再加以在地化。

由中國大陸政府授權，負責中國放射性廢棄物區域處置場規劃、興建與應轉等工作的中核清原環境技術工程有限責任公司（簡稱中核清原公司）建立於 1995 年初，為中國核工業集團旗下的子公司，是中國唯一授權從事核子設施除役、放射性廢棄物處理、放射性廢棄物處置場建設營運、放射性物質（包括放射源、放射性廢棄物、用過核燃料等）運輸，以及與放射性物質處置、運輸相關的包裝容器研發與銷售等業務，也是中國唯一經國家商務部批准擁有在上述領域實施海外工程的公司。中核清原公司目前在西北、華南處置場均累積了不少有關處置場建造、試運轉與正式運轉的經驗，擁有可完成廢棄物處置資訊管理並安全營運處置場的能力。

## 廣東北龍處置場

距離廣東省深圳市大亞灣核電基地僅有 5 公里的廣東低、中放射性固體廢棄物處置場（簡稱「北龍處置場」），占地約 21 公頃（20.5 萬平方公尺），以「一次規劃、分區建設」的原則，劃分成 A、B、C、D 共 4 個區域，一共 70 個處置單元，每單元為 17 公尺 x17 公




▲北龍處置場處置方式示意圖

尺 x7 公尺的鋼筋屏蔽箱，規劃處置容量為 8 萬立方公尺，以近地表處置的方式來處置大亞灣、嶺澳等核電廠運轉與除役過程中所生產的中、低放射性廢棄物，已於 2001 年 11 月正式開始運轉。

處置場前期工程如地質探勘、場址選擇，以及首期工程 B1 區的 28 個處置單元的地下管廊設施、8 個處置單元與相應系統設備等，都是由屬於中廣核集團的廣東核電合營有限公司出資與執行。中國環境保護部（原國家環境保護總局）在 1998 年中頒發該處置廠建造許可，首期工程於 2000 年 10 月完成，並開始試運轉。按照最初的設計方式來擺放廢棄物容器，每個處置單元可放置超過 400 個廢棄物桶以及近 2,000 個的金屬廢棄物桶。合計每個處置單元可存放的廢棄物容器的體積超過 1,000 立方公尺，目前已建立的 8 個處置單元的處置量總和則超過 9,000 立方公尺。

北龍處置場根據安全、最大利用處置單元容積，以及大亞灣核電廠與嶺澳核電廠廢棄物產生的實際狀況，確立處置場的處置工作。北龍處置場建立於地表之上，只接收處置符合國家標準的廢棄物桶。檢測通過的廢棄物轉移至

**北龍處置場允許處置的放射性核種總量**

| 序號 | 核種 | 總活度（單位：貝克） |
|---|---|---|
| 1 | 鍶 90 | $3.7\times10^{11}$ |
| 2 | 銫 137 | $1.1\times10^{15}$ |
| 3 | 鎳 63 | $9.6\times10^{14}$ |
| 4 | 碳 14 | $3.3\times10^{13}$ |
| 5 | 氚 3 | $4.2\times10^{12}$ |
| 6 | 鈷 60 | $3.3\times10^{15}$ |
| 7 | 鈽 239 | $3.4\times10^{11}$ |
| | 合計 | $5.4\times10^{15}$ |

資料來源：中國國家核安全局

處置單元、填滿處置單元後使用水泥砂漿填滿空隙，再使用鋼筋混凝土封填。待所有處置單元均完成封蓋後在上面再覆蓋一層厚度 5 公尺的防水材料。處置單元下方設有排水管網，避免處置單元在運轉期間內積水。整個處置場關閉後會形成一個像方盒子狀的封閉處，該封閉處在封閉後會形成一個小山，山上將種植植被進行綠化，並進行監管。

處置場本身即是一個輻射源，隨著所收廢棄物的增加，它的放射性也會隨之提高，因此監管機構在頒發運轉執照時也會依照《中華人民共和國環境保護法》與《中華人民共和國放射性汙染防治法》訂定相關條例與放射性活度範圍，像是北龍處置場允許的處置的中低放廢棄物放射性總活度就是 $5.4\times10^{15}$ 貝克。

根據《中華人民共和國國家核安全局 2016 年報》數據顯示，2016 年北龍處置場接收大亞灣核電廠與嶺澳核電廠產生的中低放射性廢棄物元件 150 件，均為 400 公升的金屬桶，廢棄物總體積為 60 立方公尺，放射性廢棄物總活度為 $2.69\times10^{9}$ 貝克。截至 2016 年底，北龍處置場累計接收的中低放廢棄物元件共有 1,200 多件，總體積超過 2,000 立方公尺，總活度為 $9.33\times10^{13}$ 貝克。

2001 年 11 月，中國國家環保部發文同意將大亞灣核電廠的中低放射性廢棄物轉移至北龍處置場處置單元內，使得該座處置場作為核子設施正式開始投入商轉。由於核電廠內的放射性廢棄物暫存庫空間有限，北龍處置場建成後接收了暫存於大亞灣核電廠以及嶺澳核電廠廠內的放射性廢棄物，替兩座電廠舒緩了不少壓力。2002 年 1 月，該座處置場內的廣東省城市放射性廢棄物庫也開始接收市內的放射性廢棄物。

## 甘肅玉門處置場

西北的玉門處置場位在甘肅戈壁區原核工業 404 廠廠區內，為中國最早的核工業基地之一，1998 年建成並開始運轉，是中國首座中低放廢棄物處置場，主要接收中國歷年來所生產國防相關的中低放射性廢棄物，規劃處置容量為 20 萬立方公尺，規劃面積為 140 萬平方公尺，目前已建立了 6 個處置單元，總處置容量為 6 萬立方公尺。由於該座處置場主要接收國防所產生的中低放射性廢棄物，其運轉的費用則是由中國核工業集團公司負擔，也就是由中國國家編列預算來支付。

玉門中低放射性廢棄物處置場在 2016 年總共接收了近 100 立方公尺的中低放射性廢棄物，共計 200 桶（箱），廢棄物總活度為 $4.92 \times 10^{10}$ 貝克。截至 2016 年底，西北處置場已累計接收了超過 11,000 立方公尺的放射性廢棄物，約 21,000 萬桶（箱），總活度為 $4.81 \times 10^{14}$ 貝克。

## 四川飛鳳山處置場

位於四川的飛鳳山處置場在 2016 年才獲頒運轉許可，剛開始運轉沒多久，目前僅知道場內建有 14 個處置單元，處置容量約 4 萬立方公尺。該處置場在 2016 年接收了近 230 立方公尺的中低放射性廢棄物，共計 533 桶（箱），廢棄物總活度為 $1.41 \times 10^{12}$ 貝克。

## 結語

為了保證民眾與環境的長期安全，從廢棄物的生產、包裝，到最終處置，都需進行嚴格的監控與管理，而處置場的任務即是確保儲存於場內的放射性廢棄物在長時間內不會釋放放射性物質至環境中，對人類產生影響，直到其放射性自然衰變至自然水平。目前中國的核電廠預計每年可生產 2,000 立方公尺的中低放射性廢棄物，預計到 2020 年這些放射性廢棄物的累計數量將達到 3 萬立方公尺。對核電廠而言，廠內暫時貯存庫飽和帶來的影響非常大，一旦沒有足夠的空間放置廢棄物，機組即有可能面臨停機的命運，而中國目前也已經有核電廠面臨到貯存庫「滿容」的問題，中國政府也因此將核廢料的處理列入「十三五」百大工程項目內，《十三五規劃綱要》中明確提到，在十三五這段期間，要設立「5 座中低放射性廢棄物處置場以及 1 座高放射性廢棄物處理地下實驗室」，可見中國已打算在放射性廢棄物處置方面加快腳步。



▲四川飛鳳山處置場（圖片來源：核能研究所）


資料來源：

1. 中國國家核安全局《中華人民共和國國家核安全局 2016 年報》
2. 中國西華大學《第九章　危險廢物及放射性固體廢物的管理》
3. 核能資訊中心《廣東北龍低放射性廢棄物處置場》
4. 台灣電力公司《兩岸放射性廢棄物技術交流研討會出國報告》

# 加拿大放射性廢棄物**處置計畫的啟示**

文・長崎晉也　譯・劉振乾



加拿大是核能大國之一，其所產生的各種放射性廢棄物中，有來自安大略州的肯杜（CANDU）反應爐所產生的中低放射性廢棄物，以及北美最大的布魯斯（BRUCE）核電廠（共有 8 部機組），所在地的肯家丁鎮的深地層處置計畫，目前正待環境與氣候變遷部長核准建造。2015 年夏天，審查委員會就曾向部長建議「准予建造」，可是在該年秋天舉行的大選中改朝換代，成立新政權，以致尚未發布命令。可以看出此計畫在技術上沒有問題，目前是被「政治」卡住。

關於用過核燃料的最終處置，加拿大是由放射性廢棄物管理機構（NWMO）主辦。NWMO 公開招募自願場址作業於 2013 年截止，共有 22 個地方政府應徵，其中安大略州有 19 處、薩斯卡其旺州有 3 處。其後經過文獻調查、飛機調查與現地調查，到 2017 年 1 月時已經縮小範圍到安大略州的 9 處，預定在數年內能夠聚焦至 1 至 2 處。

## 從加拿大放射性廢棄物處置計畫得到的啟示

### 1. 組織領導人的作用

NWMO 創立於 2002 年，2016 年 11 月斯瓦密就任第 3 任理事長，過去 14 年裡只有兩位理事長。首任理事長是杜丁斯威爾，威爾先生現任安大略州的副總督，也就是英國女王在安大略州的代理人。如此一位有名望的人在 NWMO 開創時期，帶領默默無聞的 NWMO 闖天下，在加拿大全境召開會議，聆聽包含原住民在內的各界聲音，主導並確立能執行的用過核燃料處置計畫「具可行性之階段管理（APM）」架構。當 APM 確定後就交棒給內行人，由熟知核能發電技術、具有豐富核能相關事業管理與國際經驗的納許先生擔任理事長，依科學方法實施 APM。

之後就是第 3 任的斯瓦密上場。斯瓦密先生長期服務於安大略電力公司（Ontario Power

Generation, OPG），從事肯杜反應爐的處置計畫、放射性廢棄物管理、實施深地層處置計畫等，並擔任副總經理，可稱為適才適所。適任的組織領導人能久居其位的好處是組織活動趨於安定，也容易建立與地方政府間的信賴關係，這是其他國家可學習借鏡的地方。

2. 擁有專業的員工

NWMO 的員工沒有來自其他組織，如電力公司的借調人員，NWMO 雇用員工的準則是要合乎需求的技術、能力、意願。NWMO 的員工具有高學歷，且是該領域的佼佼者。

本文作者的共同研究者 NWMO 的 YOUNG 先生，在東京大學獲得博士學位，指導教授是日本核能界元老的鈴木篤之教授，在美國做博士後研究之後進入 NWMO 服務。他常常在化學學會等學會上發表論文，對於作者的研究也會提出很尖銳的質詢。這樣的優秀員工在 NWMO 的科學技術領域裡處處可見，在公關以及與原住民聯繫的部門裡也常見。

加拿大的原住民各族不但語言不同，且與基督教文化有很大的差異。負責與原住民溝通的員工不但通曉該族語言，且整個 NWMO 的員工們都很尊重原住民的文化。

3. 自由度

NWMO 是根據核燃料廢棄物法，由安大略電力等擁有核電廠的電力公司與加拿大核能社團共同設立的非營利組織，因此不會受到聯邦議會與安大略州議會的干涉與牽制。YOUNG 先生說，他在學會上發表的論文以及理事長納許等人的討論資料，不需事先向主管機關的天然資源部或是資金來源的安大略電力報備，當然也沒有需要修正字句的情況發生。能夠管制 NWMO 工作的只有核燃料廢棄物法與納稅人的眼睛而已。這是 NWMO 能享受的自由度，但同時也負有計畫成功與否的重責大任。

4. 國境的那一邊

反對安大略電力公司推動中低放射性廢棄物深地層處置計畫最嚴重的是來自美國的密西根州，密西根州的州長、州議會都傾全力反對，透過華盛頓的政權施壓，並與安大略州內的反對運動團體串連。但是安大略電力並不理會來自美國的壓力，這種態度也值得我們效法。

## 結語

作者約 10 年前曾參加由日本高知縣津野町議會主辦的高放射性廢棄物最終處置場的說明會，最後有一位町民發言：「在科學與技術方面是安全的，這一點可以理解；但是想到腳底下埋置著這樣的東西，即使在釣魚的時候也感覺精神不爽，這一點請務必要了解。」另一方面，作者的高中與大學的後輩，有一位擔任縣長的人士則是說：「我們的縣受惠於溫暖氣候與充沛的自然資源，不會挨餓（意即不必想辦法讓最終處置場進駐）。」這些想法至今仍然是一般人的思考模式。

這也顯示，高放射性廢棄物最終處置場的事業，在日本的社會價值是如何，因此深入討論這種社會價值乃是當務之急。而加拿大的深地層處置計畫的暫時喊卡，也同樣是社會價值尚未獲得共識。缺乏這種共識，要判斷處置超過幾萬年的東西是否安全，以及跨科學領域的討論，乃是緣木求魚。

（作者：長崎晉也，加拿大馬克馬斯達大學教授）

資料來源：

Energy Review, 2017-4：p.19~20

# 在辯論中學習**放射性廢棄物處置的知識**

文・海老宏亮　譯・劉振乾




## 日本千葉大學教育系連續 3 年的嘗試

日本原子力發電環境整備機構（NUMO），是日本專責放射性廢棄物處置的機構，從2012 年開始與千葉大學教育系共同舉辦放射性廢棄物的辯論課程，該課程是為了透過辯論養成教育所需要的表達能力而開設的。

將「高放射性廢棄物的地層處置」作為整體辯論的主軸，進行學習。負責的藤川大祐教授說：「在內容很少變更的情形下一路走過來，舉辦到第 3 年時，學生們已經有了相當的知識累積，因此能做相當有深度的辯論。」

辯論被稱為知識的運動，透過比如「死刑制度的是與非」、「急診的收費是與非」等題目，與參加者的個人思想信條無關，分為贊成或是反對，雙方展開辯論。在每一場的衝刺來往中，向第三者（即裁判）顯示己方主張的優越性而決定勝敗。瞬間的爆發力固然重要，同時還要有對於題目相關的知識蓄積。

身兼非營利組織（NPO）法人全國教室辯論聯盟理事長與千葉大學教育系教授雙重身分的藤川教授，在第二學期開設「辯論教育論」的課程。從課程開設以來，一貫的設定就是「高放射性廢棄物的地層處置」。

針對以當教員為職志而入學的學生，指定平常很少碰觸的題目，除了培養在辯論時衝刺來往的能力之外，也希望養成學生蒐集知識並轉化為內在的技術。因此一半的課程都用於學習與地層處置以及核能相關的材料。

NUMO 在參觀設施上也提供支援。2014 年度對於修習本課程的學生之中自願參觀核子設施的學生，設計參觀中部電力公司的濱岡核電廠，以及日本原子力研究開發機構的瑞浪超深地層研究所的活動。而平常每一次上課 NUMO 也派遣員工參與，針對地層處置所產生的疑問，能當場即時答覆，藉此支援藉由正確知識展開辯論的活動。

從 1 月開始以成果發表會代替筆試的辯論比賽，以 4 名學生為一組，針對「是否要撤除地層處置計畫，課以恆久管理的義務」為題目，進行辯論比賽。筆者就曾參與這一次的辯論比賽。

贊成的這一方，提案使用護箱（CASK）做恆久管理，其候選場址則以現有核電廠廠址為主，並且試算出用電戶每月因此需要增加負擔的金額。

反對的這一方則避開廠址的課題而另提主張，突顯出超長期的護箱管理的安全課題，而追究到「因為管理而產生的風險」。逼出贊成方的一句：「安全是重要的，問題不在成本。」把贊成方努力想表達用電戶負擔的金額很有限的優點一下子推翻掉了。結果，這場辯論比賽，反對的另一方獲勝。

不管在辯論比賽時被指派為贊成的這一方或是反對的這一方，都需要全組 4 名同學齊心合力蒐集有關廠址（或場址）、成本、安全性等與地層處置相關的知識。而 NUMO 參與其中的重要性就在此時顯露無遺。

每次出席上課的 NUMO 地方交流處的加賀美俊英課長說：「剛開始有幾位同學對於核能抱持反對的看法，在提供資訊的過程中讓他們了解地層處置的重要性。」到最後，加賀美課長實際感受到同學們對於核能發電的瞭解程度增加了很多。

而藤川教授則說：「由於 NUMO 的合作，一年比一年做出更深入的辯論。」雖然只有一個學分，但是學生可以隨意的再來聽講。由於這些有經驗者的參與，使傳授知識與技術有了好的循環，而讓辯論能更上一層樓。今後，盼望藉著畢業生，將這些想法擴散到社會上。

因此，千葉大學與 NUMO 在下學期都有意延續此一課程。

資料來源：
日本電氣新聞 2015/2/3，科學與教育專欄，記者：海老 宏亮

# 核電廠除役的**責任與分工**

文・洪國鈞

## 通則

由於依賴不同的法源，除役作業所需的執照與運轉執照並不相同，而在一些狀況下，電廠經營者在除役計畫的執行中可能需要更新執照，這可能是依除役各階段的不同，核發不同階段的執照。

雖然電廠經營者具有變更除役計畫各階段時間點的權力，包含經費，而電廠經營者的資金最好能由第三單位進行監管，而除役計畫時程的變更將直接影響經費支出與資源分配。

## 電廠經營者

電廠經營者對於除役的所有作業具有完全的責任，而且除役計畫的執行是由除役計畫管理者（Decommission Project Manager，DPM）來統籌，除役計畫管理者需考量安全與經費之間的最大淨利來執行除役業。電廠經營者應確保有足夠的資金提供除役作業完成，而電廠經營者須定義除役管理者相關權力、執行上的授權與限制。

## 除役計畫管理者

除役計畫管理者領導整個除役團隊，同時直接對電廠經營者負責。然而，除役作業相關的監察與協調機制需同時建立，以避免除役計畫管理者在執行上發生疏失。此外，除役計畫管理者必須確保除役團隊的安全與效率，因為除役計畫管理者有責任控制除役資金的收支，並確保有足夠的資金完成除役作業。除役計畫管理者必須統御所有的團隊成員，因此應具有專業技術與經驗，同時對於除役目標與組織結構有深刻瞭解才適任這份職務。

除役計畫管理者同時應具備輻射防護與環境輻射上的經驗，這對於核電廠相關的輻射調查得以落實。而除役計畫管理者在執行除役作業時，應監督、控制與評鑑除役進行時的支出，定期的將支出與效益製表，檢討是否有達到各階段的目標，或是達到目標以外的延伸。這樣的定期檢討將有助於資金使用的最適化，同時也有助於確認資金的流向是否用於除役作業上。

除役計畫管理者可以藉由進度會議、定期報告、績效表現、統計資訊、目標後與計畫後的回顧來進行監督。藉由監督才得以確認計畫上的缺失並予以改正。

1. 安全

（1）意外頻率低於 10 萬工作小時；

（2）輻射劑量「合乎合理抑低（ALARA）」的要求與法規限值；

（3）廠區事件通報。

2. 計畫

（1）計畫時程內除役的花費；

（2）廢棄物的體積與產量；

（3）監督花費；

（4）廠區基礎建設花費；

（5）子計畫的花費；

（6）各階段目標的達成與否。

## 技術支援團隊

技術支援包含成員在技術上的經驗，如輻射防護、工業安全、品質保證與工程技術。

### 1. 輻射防護

如同除役計畫的其他部分，輻射防護計畫是為了確保工作人員、大眾與環境的安全而進行的保護措施。輻射防護計畫需要透過最適化以符合合理抑低的原則。此外，針對不同工作性質的員工，對於劑量測定應使用不同的劑量計，同時施以不同程度的防護措施、污染調查與清潔測試，以避免放射性物質被夾帶到廠區以外。

除役團隊的輻射防護專家，應提供保健物理上的諮詢，監測所有的作業，並記錄放射相關的資訊。此外，輻射防護專家也應準備可行的緊急應變計畫以確保安全。而輻射防護專家對於未具備完整紀錄的電廠除役工作，會有極大的幫助。

### 2. 工業安全

工業安全計畫主要是為了確保安全與避免勞工的健康與環境受到非放射性危險物質的傷害，因此為了確保安全與健康，工業安全計畫需包含安全演習、工作區域的監管與並加強特殊裝備的保護。

除役團隊中的工業安全專家需要發展除役作業中所需的安全政策，同時提供工業安全上的諮詢。並準備非放射性物質相關的緊急應變計畫。對於除役工作人員同時也肩負起醫藥監察的責任。

### 3. 品質保證

品質保證計畫在除役計畫展開的初期就應該建立，品質保證計畫應與時程相配合，品質保證計畫的執行在不損及安全的情況下，可以具有彈性。此外，為了確保品質保證計畫的落實，在除役作業中，品保團隊應受到電廠經營者直接的監督，並且維持相當的獨立性。

### 4. 工程技術

工程技術團隊主要是提供除役設施工程上的技術支援，這包含了提供除役設施過往的歷史資訊。同時，工程技術團隊也負責規劃工作程序上的細節，但並非必須由該團隊自力完成，而是由該團隊主導。

有關改建工程的規劃與執行將由工程技術團隊負責，而與放射性物質相關的工程作業中，可能會需要輻射防護團隊的技術支援。針對工程上的需求，可以增加任務性的編組，因此一個工程技術團隊的組成，至少包含土木工程師、電子工程師與機械工程師等。

### 5. 法規諮詢

法規諮詢團隊提供除役團隊有相關法規與導則的諮詢與說明，同時法律專家也協助除役團隊處理相關的法律問題與訴訟。

## 除役作業團隊

除役作業團隊的成員多半延續自電廠運轉時的運轉團隊，這樣的組成是希望仰賴他們的經驗，使得除役工作能夠獲得最大的淨利益，此外，除役作業涵蓋了除役計畫中最主要的部分如下：

### 1. 除污與拆解

除污與拆解團隊在除役作業中的活動，須依據除役權責單位的核可才得以執行其工作。拆解團隊主要是將核電廠的組件，自其設計上的安裝位置移除，作業的過程中可能需要除污小組來協助清理放射性物質，以降低輻射劑量。此外，除污與拆解作業將是放射性廢棄物最主要的來源，因此相關成員除了所需技術外，也需要進行輻射防護的相關訓練。

### 2. 廢棄物管理

廢棄物管理團隊是要確保各單位產出的廢棄物，得以妥善的進行處理、貯存與處置。因

此，降低廢棄物的產量與體積是最大的課題，應與輻射防護團隊與工業安全團隊相互支援，以確認廢棄物相關的資訊。此外，建立放射性核種的擴散模式是其任務之一。

3. 維修

在除役作業中，維修團隊維護相關設施是與安全具有高度相關，維修團隊除了專職維修相關設施外，也應做好維修的記錄，以供相關單位查驗。

4. 專業承包商

在除役作業中，專業承包商是由除役團隊雇用並提供相關服務。聘請專業承包商的好處是避免為處理少數特殊的狀況，而長期聘請或訓練專業技工，造成人事費用上的增加。同時由於專業承包商長期承攬相關業務，因此具有豐富的經驗與操作機會，一般而言會比專業技工具有更佳的效率，如果必要的話，可以藉由合約要求專業承包商提供訓練服務，協助除役團隊建立相關的技術。

## 行政團隊

行政團隊是協助除役計畫管理者處理一般事務性的工作，該團隊包含會計財務、合約採購、資訊管理、人員訓練與警備保安：

1. 會計財務

財務上的管理調度將取決於除役目標的設定而有所不同，會計財務團隊主要負責經費上的管理，因此無論是技術支援團隊、除役作業團隊、行政服務團隊以及外部的承包商，只要牽涉經費上的申報，皆要透過會計財務部門的許可。同時，除役所需的經費，亦由該部門會相關單位進行管理。

如果電廠經營者同時間除役多個廠址，為了避免不必要的開支，可以擴充同一組會計部門進行財務上的申報與管理。

2. 合約採購

合約採購是協助除役計畫管理者，向專業承包商、器材供應商等單位外組織，進行合約上的簽訂與談判事宜。然而對於除役計畫管理者來說，合約的訂定除了經濟上的考量之外，時程與安全也是考量的項目之一，因此，除役計畫管理者應充分地與合約採購團隊溝通，並給予充分的授權，使該團隊得以爭取到最有利的合約。此外，合約採購團隊的每一筆交易均需獲除役計畫管理者的授權或追認。

此外，合約簽訂後，合約相關的查核作業亦由合約採購團隊負責，必要時可以要求技術支援團隊的協助，以瞭解合約是否確實執行，採購的設備是否合乎規格。假若合約未被履行或採購設施具有瑕疵，則可會同法規諮詢團隊進行相關的調解。

3. 資訊管理

資訊管理團隊主要是為了維護、貯存與輸送相關的紀錄、資料與報告，因此，資料格式的規格隸屬於資訊管理團隊的管轄。由於除役過程中收集大量的資料，為了維持資料的時效性與輸送的便利性，可能會需要網際網路的支援，此時資訊管理團隊除了確保資料傳遞的暢達之外，亦負責資料的安全與加密。此外，資訊管理的系統將受到品質保證團隊的監督，以避免資料發生缺損謬誤的情形。

4. 人員訓練

當核電廠最終停機與除役的時間確定之後，電廠經營者應當募集第一批種子訓練人員，相關人員的養成可以依靠國際間的觀摩交流，或委託國外代訓，亦可利用類似設施進行相關的演練培訓。原則上，人員訓練團隊的目的一方面是避免人員流動造成技術上的斷層，而成為除役團隊與承包商的挑戰。藉由訓練的過程，可以確保對工作的熟悉程度，這會降低潛在危險，進而提升除役作業的安全。因此，人員訓練無疑的對除役計畫產生直接與間接的

影響。

此外，由於財務上可預見的壓力，因此人員應盡可能的具備多項技術，這將提升除役作業的可靠度，避免發生一人團隊的情形，這也有賴於人員訓練團隊相關的養成計畫。

最後，人員訓練團隊也應為除役計畫管理者進行再訓練，由於除役階段的不同，除役計畫者很可能也會交接，因此對於接替的除役計畫管理者進行相關的訓練，確立除役的目標，將會為除役工作帶來良好的效率。

5. 警衛與保安

警衛主要設置在存放用過核燃料的場所，因為在用過核燃料中有可提煉的鈾元素與鈽元素，避免核武擴散的陰影，因此警衛提供了相關的安全保障，而當用過核燃料被移出後，警衛的人數可以逐漸減少，但除役團隊仍需要一些警衛負責安全上的巡邏。

## 界面管理

電廠經營者以及除役團隊與各相關單位之間要獲得良好的溝通，須有賴於良好的界面管理，由於這些組織提供與除役相關的技術、社交與法規，在某些狀況，界面管理的任務可以由個人權充，但是如由專責團隊分工會較為妥當，界面管理的目標單位如下：

1. 法定管理機構──核能、交通、環境與輻射防護的主管機關；
2. 國家標準組織，或專業協會；
3. 一般大眾

聯絡、調停或壓力團體：

1. 地方、地區或政府單位；
2. 廢棄物管理組織

放射性與非放射性廢棄物：

1. 股東；
2. 國際組織；
3. 核能工業；
4. 工會；
5. 消費者；
6. 媒體。

界面管理可以提供一個良好的機會讓組織外的成員參與除役的過程，使得除役過程可以與外界互動。圖 1 所示為除役團隊與各組織之間的連繫關係。

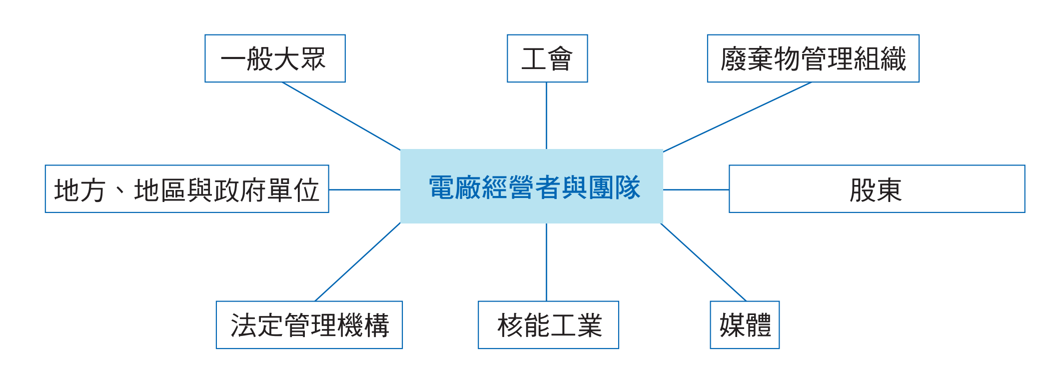



**圖 1　除役計畫相關組織的界面管理**

參考文獻：

（1）INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Decommissioning of Nuclear Power Plants and Research Reactors, Safety Standards Series No. WS-G-2.1, IAEA, Vienna（1999）.

（2）INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Decommissioning of Medical, Industrial and Research Facilities, Safety Standards Series No. WS-G-2.2, IAEA, Vienna（1999）.

（3）INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Regulatory Control of Radioactive Discharges to the Environment, Safety Standards Series No. WS-G-2.3, IAEA, Vienna（1999）.

（4）INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Decommissioning of Nuclear Fuel Cycle Facilities, Safety Standards Series No. WS-G-2.4,IAEA, Vienna（1999）.

（5）INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Predisposal Management of Radioactive Waste, Including Decommission, Safety Standards Series No. WS-R-2, IAEA, Vienna（1999）.

（6）OECD NUCLEAR ENERGY AGENCY, Decontamination Techniques Used in Decommissioning Activities, NEA Task Group on Decontamination, OECD, Paris（1998）.

（7）INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Organization and Management for Decommission of Large Nuclear Facilities, Technical Reports Series No. 399, IAEA, Vienna（2000）.

（8）INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Planning and Management for Decommissioning of Research Reactor, Technical Reports Series No. 351, IAEA, Vienna（1993）.

（9）INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Methodology and Technology of Decommissioning Nuclear Facilities, Technical Reports Series No.267, IAEA, Vienna（1986）.

（10）INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Regulatory Process for the Decommissioning of Nuclear Facilities, Safety Series No. 105, IAEA, Vienna（1990）.

（11）INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, National Policies and Regulations for Decommissioning Nuclear Facilities, TECDOC-714, IAEA, Vienna（1993）.

（12）OECD NUCLEAR ENERGY AGENCY, Future Financial Liabilities of Nuclear Activities, OECD, Paris（1996）.

（13）US NUCLEAR REGULATORY COMMISSION, Staff Responses to Frequently Asked Questions Concerning Decommissioning of Nuclear Power Reactors, Rep.NUREG-1628, Washington, DC（April 1998）.

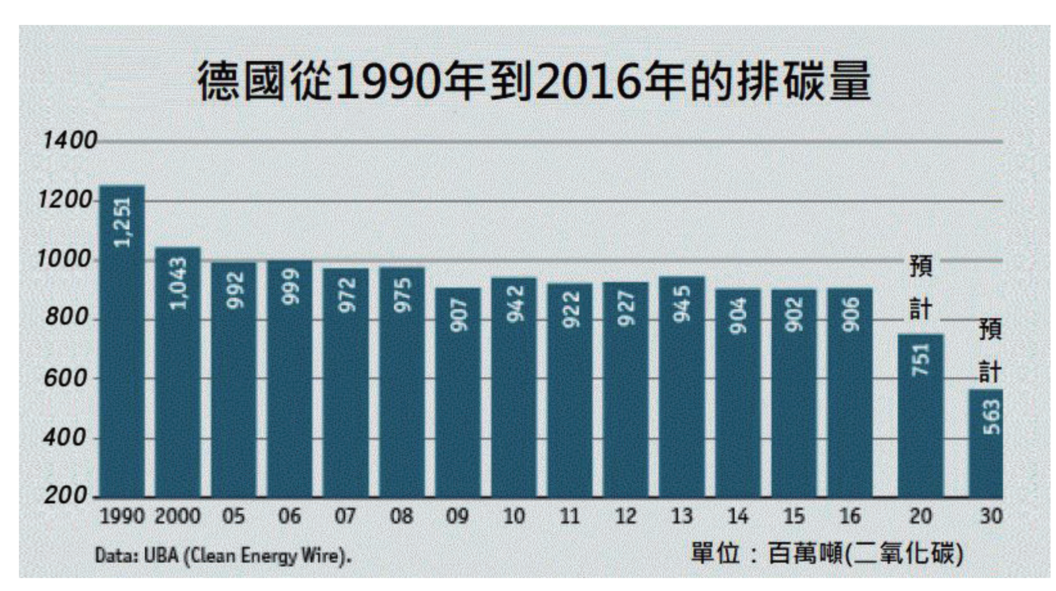
（14）US NUCLEAR REGULATORY COMMISSION, Revised Analyses of Decommissioning for the Reference Pressurized Water Reactor Power Station, Rep.NUREG/CR-5884, Vols 1 and 2, Washington, DC（November 1995）.

（15）US NUCLEAR REGULATORY COMMISSION, Technology, Safety and Costs of Decommissioning a Reference Independent Spent Fuel Storage Installation, Rep.NUREG/CR-2210, Washington, DC（January 1984）.

（本文作者為台電公司核能工程師）

# 德國因為減核**導致減碳目標跳票**

譯・張文杰




▲圖 1. 德國 1990-2016 年的碳排放量

德國政府的減碳目標是到 2020 年將溫室氣體排放量減少到 1990 年的 40%，但是現在離 2020 年已不到 3 年的時間，德國的減碳量是 27.5%，離說好的 40% 減碳目標還很遙遠。

德國柏林已經承認，40% 的減碳目標是不可能的，所以把目標下調至 35%，但是現在看起來連 35% 的目標都不太可能達到。綠色智庫「能源革命論壇（Agora Energiewende）」一項新的研究顯示，以目前德國的做法，在最佳狀態下的減碳幅度可能只有 30-31%。

德國減碳目標跳票的原因主要有 2 個，第一、目前化石燃料的價格都在低檔，所以天然氣和燃氣的依賴度越來越高。第二、能源政策，德國已經永久關閉 17 個核能機組中的 9 個，並承諾在 2022 年底之前關閉其餘的核能機組。在 2011 年 3 月，德國的 17 個核能機組供應了德國近 1/4 的電力。到了 2016 年，剩下的 8 個核能機組供應了德國近 13% 的電

力，而燃煤占了德國 40% 的發電量，其中有 23% 來自褐煤。

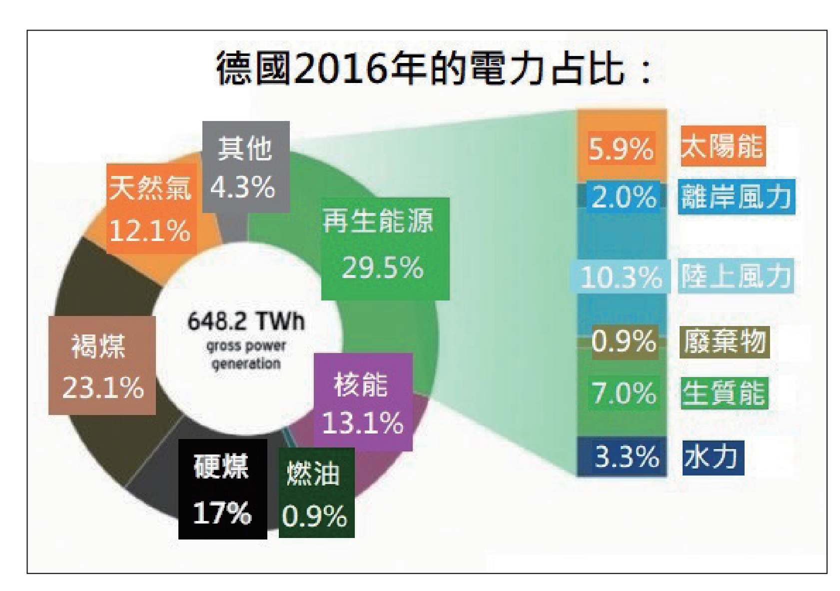
褐煤是燃煤中品質較差的種類，褐煤的熱值偏低、排碳量很高，每度電排放的二氧化碳高達 1,100 克。一般先進國家不會進口褐煤，幾乎都是國內有產褐煤的國家才會使用，而德國正是全球褐煤產量最大的國家。德國為了彌補減少的核電，不得不增加對褐煤的依賴，這就是德國減碳失敗的主因。

根據能源革命論壇的研究，德國關閉的 9 座反應爐，年發電量約 800 億度電，假設這 800 億度電全部用褐煤來取代，相當於增加了 8,800 萬噸二氧化碳，這是德國在 1990 年排碳量的 7%。假如德國的減碳路線，是採取「再生能源與核能發電合作」，不關閉這 9 座核電機組，德國至今的減碳量將會從 27.5% 變成 34.5%，這看起來離 40% 的目標就不遠了。

別忘了，德國至今仍有 13.1% 的電力來自 8 座核能機組，年發電量為 850 億度電，如果德國堅持現今的能源政策，2022 年的碳排放量可能比現在還高，減碳目標也註定會失敗。❁

資料來源：

1. https://www.nextbigfuture.com/2017/09/germany-will-fall-short-of-2020-emissions-target-by-around-amount-of-shuttered-german-nuclear-power.html
2. http://reneweconomy.com.au/renewable-energy-production-stagnates-germany-2016/




▲ 圖 2. 德國 2016 年的電力占比

# 川普誓言美國能源將進入黃金時代

譯・張文杰

在今（2017）年6月底，美國的川普總統會同美國能源部的高層、國會議員和內閣官員，在白宮發表了美國的新能源政策。這項新能源政策的重點是要「解放美國能源」，除了追求「能源獨立」之外，還要能做到「能源主導」。而恢復和擴大美國的核能部門，就是關鍵性的第一步。

能源獨立是指美國要增加自產能源的比例，減少對外國能源的依賴，讓美國不再輕易地受到以能源為經濟武器的外國政權影響。能源主導指的就是要進一步推動將美國能源出口到國外，反過來以能源為經濟武器去影響其他國家，同時美國家庭將獲得更便宜的能源，工人也將獲得更多的工作機會。

川普總統說，為了達到上述的目標，美國政府即將採取6項具體措施。首先，美國將開始恢復和擴大核能部門，因為核能可以大量且穩定生產清潔、可再生和無碳排放的電力。有業界抱怨美國政府對於核能興建與新技術的審查太過複雜且嚴格，所以美國政府將對核能政策進行全面性地檢視，幫助美國找到振興這個關鍵清潔能源的新方法。

其次，財政部將高效率地解決海外燃煤電廠的融資障礙。烏克蘭已經告訴我們，他們現在需要數百萬噸的燃煤，所以美國會把燃煤賣給他們，以及所有需要燃煤的國家。

第三，美國政府剛剛批准向墨西哥建造新的石油管道，這將進一步推動美國的能源出口。第四，就在最近，美國一家重要的能源公司 Sempra Energy 簽署了一項協議，開始對美國天然氣出口議題進行談判。第五，美國能源部於近期宣布，將批准兩個路易斯安那州液化天然氣碼頭的長期申請案，此案通過後將有助於美國出售更多的天然氣給過去不曾跟美國買天然氣的國家。

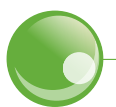
最後一項則是釋放前一屆政府關閉的94%離岸土地上的能源，美國政府正在建立一個新的海上石油和天然氣的租賃計畫。美國海岸有許多巨大的能源財富等著我們去挖掘，現在我們將去挖掘這些財富。

川普總統強調，以上6項具體措施將以不同形式使美國人民受益。提高自產能源比例可以使美國不再輕易受到國際能源價格影響，以及被以能源為經濟武器的外國政權影響。美國家庭將獲得更便宜的能源，我們能保留更多的辛苦賺來的錢。我們的工人也將獲得更多的工作機會。

「美國能源的黃金時代即將到來，歡迎來到我創造出的這個令人興奮的新美國未來。」

資料來源：

https://www.whitehouse.gov/blog/2017/06/30/president-trump-vows-usher-golden-era-american-energy-dominance




# 中、俄浮動式核電廠已近完工、試營運

文‧編輯室

中國船舶工業集團公司的相關人員最近告訴路透社，中國首座浮動式核電廠已經接近完工的狀態。該名工程師表示，相關的反應爐技術已經準備就緒，第一個浮動式反應爐示範計畫很快就會部署在中國北部渤海灣的鑽井平台上，雖然沒有給出確切的日期，但預計會在 2020 年前準備就緒。該部示範計畫的工程由中國船舶工業集團公司、中國海洋石油總公司、中國核工業集團公司，以及中國廣核集團公司共同開發。

中國政府目前已呼籲國內核電公司開發有助於提高國內核電裝置容量，以及贏得海外核電計畫的技術。此外，中國政府也將浮動式核電廠視為另外一個政治目標，因為浮動式核電廠可以加強中國在國際海洋間的存在性。中國核工業集團公司已於 8 月份時成立浮動式核電廠相關的子公司，中國船舶工業集團也在某次行業會議上發表談話時，宣示著身為核工業與造船業的他們有著建立海上電力的使命。

另外，俄羅斯國家原子能公司（Rosatom）旗下的俄羅斯核電公司（Rosenergoatom）也在近期宣布，世界上首個浮動式核電廠支撐載體的船舶，已經抵達俄羅斯楚科奇地區的佩維克港（Pevek）。俄羅斯核電公司表示，這座叫做「羅蒙諾索夫院士號（Akademik Lomonosov）」的浮動式核電廠將於明年 5 月拖曳至摩爾曼斯克（Murmansk），並於 10 月時裝載燃料，預計在 11 月投入商轉。

該座浮動式核電廠目前停泊在聖彼得堡的一座造船廠內，其內部兩部 3.5 萬瓩的 KLT-40S 反應爐與俄羅斯的核動力破冰船內的反應爐相似。在 11 月初前已有約 1 萬噸的建築材料，包括沙子、礫石與水泥運送至佩維克港，還一同攜帶了用於水利系統以及沿海基礎設施建設的金屬結構體。該部浮動式核電廠反應爐迴路的清洗工作已於 10 月初完成，俄羅斯核電公司將其稱為完成反應爐與其分支系統組裝的最後程序。俄羅斯核電公司也補充，根據設計參數對其系統與設備進行的測試將持續至年底，並強調該座浮動式核電廠計畫是基於成熟的核子破冰船技術，它的設計存有很大的安全餘裕，使得反應爐不容易受到海嘯與其他自然災害的影響。此外，船上的核子相關過程均符合國際原子能總署（IAEA）的要求，不會對環境構成威脅，該部浮動式核電廠計畫甚至在申請運轉許可過程得到公眾一致的支持。

資料來源：

1. Nuclear Engineering International. “China's first floating NPP almost complete.”
2. World Nuclear News. “Russian floating plant cargo arrives at Pevek.”

# 法國將於 2018 年**削減核電占比**

文・編輯室

法國環境部部長胡洛（Nicolas Hulot）於近期表示，法國將在明（2018）年底前決定核電機組關閉的數量，以達到先前制定「將降低對核電依賴程度」的目標：於 2025 年時把國家核能發電占比自 75% 降至 50%。胡洛說，他將於 2018 年上半年實現他的「綠色承諾」，不過他也表示，為了將核電占比降低到 50%，他們不得不關閉一些核電機組，而他將於 2018 年底公布關於這個將耗時數年的計畫的準確數量。

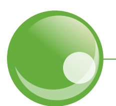
在今（2017）年 7 月的時候胡洛就已指出，法國最多必須關閉 58 部核電機組中的 17 部，才有可能達到這個目標，但之後預測所得的數個結果均不相同。胡洛對此表示，為了避免法國在「能源轉型」的這段過渡期間面臨到「電力短缺」的窘境，他會考慮准許法國持續依賴核電。法國在去年冬天由於關閉了 1/3 的核電機組進行安全檢查，導致電力供應緊張，同時也面臨到停電的風險。

另外，法國電力公司（EDF）在 10 月底的時候下調了其對 2017 年核電產量的預估，將預估數值從 3,850-3,920 億度（385-392TWh）下調至 3,830-3,870 億度（383-387 TWh），並將特里卡斯汀（Tricastin）核電廠 1-4 部機組（裝置容量總和 360 萬瓩）的重啟往後推遲了 3 個星期至 11 月底。法國核能安全管理局（ASN）因在連接該電廠的運河堤防中發現瑕疵，因此下令該電廠停機，法國電力公司隨後也修正了其利潤目標。在該電廠完成由法國核能安全管理局下令的堤防加強作業之後，法國電力公司也為此發表了聲明，相關的支出約是 300 萬歐元（約 1 億零 5 百萬新台幣），目前正在等待法國核能安全管理局以及其技術部門的的檢測。

而法國電力公司在 10 月底的另外一份聲明中宣布將延後另外一座核電廠 Paluel 第二核電廠的重啟，從原先的 2 月中延後至 4 月中。該核電廠在 2015 年 5 月進行為期 10 年的定期大修，但維修工作在 2016 年 3 月時發生了重達 450 噸以上的蒸汽產生器在維修過程中碰撞到反應爐的底板上，造成大面積的破壞，法國核能安全局在最近終於批准法國電力公司更換蒸汽產生器。

資料來源：

Nuclear Engineering International. “France to decide reactor closures next year.”


# 韓國將繼續新古里 5、6 號機建設工程

文・編輯室

韓國總統文在寅在今（2017）年 5 月上任後改變韓國過往核電政策，除了決定將首度淘汰韓國老舊機組、實行「逐步廢核」之外，也暫停了已完成 3 成的新古里核電廠 5、6 號機的建設工程，將在諮詢民意後再決定是否繼續。而在 10 月 20 日，與預期相反，韓國政府為此議題而新組成的「新古里 5、6 號機公論化委員會」，在經過 3 個月的委員活動後依據審議式民調結果，於 20 日向文在寅政府發表勸告案，建議新古里兩座未完工的核電機組應完成其建設工程並投入運轉。民調結果是由 471 位韓國公民組成的「公民陪審團」，以實際公民審議的方式進行 4 次的民意調查後所得出。

第 1 次電話民意調查受訪人數為 2 萬人，從中挑選 500 人，參加第 2 次調查，並組成市民參加團，參加 3 天 2 夜的綜合討論會（第 3 次調查），會中提供與會者擁核與反核組織雙方的簡報資料、雙方專家的講座，讓與會者有機會提出問題並面對面的與專家進行討論。再來就是在綜合討論會最後一天進行的第 4 次問卷調查，由參加的 471 位民眾做出最終選擇。而最終陪審團有近 6 成的人希望恢復新古里兩部機組的建設工程，但也有 4 成的陪審團覺得應該終止建設工程。委員會主席金智銘（音譯）表示，所得出來的結果有 95% 的準確度，誤差為正負 3.6 個百分點。而文在寅隨後也在 10 月底時親自宣布接受這個提案，也保證會加強核電廠的安全，並在聲明中提到：「政府會根據民調的結果儘速恢復新古里 5、6 號機組的建設工程」。

不過，公民陪審團也表示他們支持政府降低對核電依賴的能源政策。5 月文在寅當選總統後發起了一場「應利用天然氣與再生能源來取代韓國核能與燃煤發電」的活動，爭取降低國內核能與燃煤發電，韓國最古老的核電機組古里 1 號機也在文在寅上任後確定將除役。

韓國目前仍有 24 部核電機組，供應整個國家 3 成的電力，另外還有 9 部機組在建、籌畫中。新古里 5、6 號機原先預計在 2021 年 3 月與 2022 年 3 月完工，現在將各延後半年。營運廠商韓國水力核能電力公司（KHNP）表示，一旦收到政府的正式文件後將立即通知承包商，在詳細的檢查後儘速恢復建設工作，該公司也因這次的停工向承包商賠償了 1,000 億韓元的經濟損失。

資料來源：

Nuclear Engineering International. “South Korea to complete Shin-Kori 5&6.”

# 核能新聞

文・編輯室

## 國外新聞

### 沙烏地阿拉伯準備開始建設核電廠

根據路透社最近的報導，沙烏地阿拉伯最近向各國際核電廠商發出建設 2 座核電廠的訊息（Request for Information，RFI），期望能收到相關的資訊，成為邁向正式發包工程的第一步。為了減少國內石油消費量來維持出口，沙烏地阿拉伯正考慮在 2032 年前設立裝置容量達 176 萬瓩的核電，相當於 17 部核電機組，這也成為 2011 年福島事故至今仍處於復甦時期的反應爐供應商，他們主要的商業前景。業內人士表示，沙烏地阿拉伯為了該國的首兩部核電機組，目前正積極接觸來自韓國、中國、法國、俄羅斯、日本以及美國的供應商。

而法國電力公司（EDF）也提到，目前正與數個國家討論出售核電機組，沙烏地阿拉伯也屬其中之一。其他有潛力的國際供應商為隸屬東芝的西屋電氣、俄羅斯國家原子能公司（Rosatom）、韓國電力公司（Kepco），以及中國廣核集團。沙烏地阿拉伯原子能與再生能源採購機構（KACARE）高層人員也在最近宣布，沙烏地阿拉伯目前也正計畫在國內提煉鈾礦，作為其核電計畫的一部份，他們也在國際部長級會議中提到，從經濟的角度來看，開採鈾礦是有意義的，根據其研究估計，沙烏地阿拉伯擁有近 6 萬噸的鈾礦，他們也會盡快通過相關法律，期望能在 2018 年 10 月建立監管框架，並邀請國際原子能總署（IAEA）進行綜合監管審查（IRRS）。

Nuclear Engineering International, 2017/11/04

### 日本伊方 3 號機停機進行年度檢修

位於日本愛媛縣的伊方核電廠 3 號機在最近停止運轉，接受計畫好的檢修，這部裝置容量 89 萬瓩的反應爐的暫時關閉將使日本運轉中的核電機組數量減少至 4 部，裝置容量總和也降低至 352 萬瓩（3.52GWe）。營運廠商四國電力公司預計將在 2018 年 1 月中旬重啟該部機組發電，並於 2 月中旬恢復商轉。福島事故至今，日本 42 部核電機組中仍有大部分還在申請重啟。

目前成功重啟並處於運轉狀態的機組有：關西電力公司位於福井縣的高浜 3、4 號機，以及九州電力公司位於鹿兒島的川內 1、2 號機。根據日本原子力產業協會（JAIF）的報導，目前已有 6 座電廠、12 部機組通過福島事故後的新制審查標準，離重啟更進一步。

Nuclear Engineering International, 2017/10/04

### 日本正式啟用福島縣過渡性貯存設施

日本環境省於今（2017）年 10 月底正式啟用位於福島縣內的「過渡性貯存設施」，這座橫跨福島縣大熊町與雙葉町的中期貯存設施，主要是用來存放福島事故後已完成除污作業的土壤與廢棄物，最長可處置 30 年，直到最終處置場完成建設，該設施先前已完成近 4 個月的試運轉。

不過，這座中期貯存設施僅完成一半的建設，目前尚無法接收所有福島事故後所累積、預計共有 2,200 萬立方公尺的放射性廢棄物。日本政府計畫為該設施提供 1,600 公頃的土地，預計將耗資 1.6 兆日元（約 4,300 億新台幣）來建造。但目前卻因當地居民擔心若沒有最終處置場的情況下，這些放射性廢棄物會永久棲息在這裡因而反對，導致日本政府僅能購買其中 4 成的土地。

根據日本媒體的報導，福島非常急切的需要這座中期貯存設施，來整合分散在福島縣一共 1,300 萬立方公尺的放射性廢棄物，因為時間不斷延長的處置作業將影響當地居民返鄉的時間。另外，日本政府也在同樣的這個時間點，啟用了一座可將需要做焚燒處理的草木自放射性廢棄物中分離的設施，並替去污後的土壤進行保管與貯存。

The Japan Times, 2017/10/28. Nuclear Engineering International, 2017/10/30

## 美國核管會批准瑞典軟體供應商的核燃料軟體

美國核能管制委員會（NRC）最近向瑞典核能分析軟體供應商 Studsvik Scandpower 所開發的「核心管理系統 5（CMS5）」頒發了通用營運許可，使其在美國的公共事業（電力公司）界中可更廣泛地被獲得與使用。壓水式反應爐供應商可使用這個軟體來設計核燃料以及反應爐爐心的負載，該軟體還可以作為分析與規劃核燃料循環各個方面的基礎代碼。Studsvik 公司在 2015 年底向美國核管會提出該軟體的營運許可申請，公司總裁佛雷爾（Steven Freel）表示，該軟體營運許可申請除了具備大量的財務投資之外，還有公司核能與科技相關的工程人員多年來的投入與奉獻。

Nuclear Engineering International, 2017/11/1

## 芬蘭完成用過核子燃料處置封裝廠的基地開發

芬蘭放射性廢棄物管理公司波希瓦（Posiva Oy）在今（2017）年 10 月初發布新聞稿，宣布位於歐基盧歐圖（Olkiluoto）的用過核子燃料封裝廠已完成基地開挖工程。該座位於地面的封裝廠是芬蘭用過核子燃料深層地質處置設施的一部份，用過核子燃料在運送至地下進行最終處置前會先在封裝廠接收進行檢測，並將其乾燥、包封在處置容器中。

該座封裝廠的基地開挖工程始於 2016 年 10 月，下個階段的建廠工程則於今年 9 月開工，而主體開挖工程於 2016 年底就已開始，目前正在進行通往地下處置設施車輛的斜坡隧道的開鑿作業。整個處置設施的開挖工程將分 8 期進行，第 1 期的開挖作業預計將於 2019 年中完成。

芬蘭在 2000 年選定 Eurajoki 市附近的歐基盧歐圖作為深層地質處置場場址，芬蘭國會隨後於隔年批准該處置場建設計畫，波希瓦公司在 2013 年底向芬蘭工業與經濟部提出建造許可申請，處置設施預計將於 2023 年開始運轉。

Nuclear Engineering International, 2017/10/10

## 土耳其首座核電廠建設工程將於 2018 年開始

土耳其能源與自然資源部部長亞爾貝拉克（Berat Albayrak）在最近宣布，土耳其首座核

電廠阿庫尤（Akkuyu）的工程將於 2017 年底或 2018 年初開始。建設公司俄羅斯國家原子能公司（Rosatom）計畫將在地中海沿岸梅爾辛省（Mersin）的南部建造該座核電廠，首部機組預計將於 2023 年開始運轉，整座電廠將於 2025 年全面投入營運。

亞爾貝拉克表示，土耳其原子能總署（Turkish Atomic Energy Agency）目前正在對該電廠建造許可進行詳細的研究與調查，並在 10 月初時批准俄羅斯國家原子能公司的機械工程部門為阿庫尤核電廠的設備製造商。土耳其在 2010 年與俄羅斯簽署阿庫尤核電廠的首份合作協議，並於 2013 年委託俄羅斯國家原子能公司在該電廠建設 4 部 120 萬瓩的反應爐，但這座價值 200 億歐元（約 7,000 億新台幣）的核電廠計畫卻屢遭拖延，原因包含了土耳其在 2015 年 11 月在敘利亞邊界附近擊落一架俄羅斯的飛機導致該工程遭到短暫中止等。但此後兩國的關係逐漸改善的情況下該電廠的建設工程已經陸續恢復，俄羅斯國家原子能公司在 9 月時表示，他們的目標是在 2018 年 3 月時開始阿庫尤核電廠的建設工程。

Nuclear Engineering International, 2017/10/18

## 中國簽署海外第 3 座華龍一號

中國核工業集團董事長與巴基斯坦原子能委員會（Pakistan Atomic Energy Council）主席在最近簽署了於巴基斯坦恰希瑪（Chashma）核電廠設立華龍一號的建設合約，為該部核電廠的第 5 部機組，也是中國出口國際的第 3 部華龍一號，向巴基斯坦出口的第 7 部核電機組。該部機組將由中國核工業集團旗下的子公司中原公司承包建設。

中國國內建設中的華龍一號有目前有：福清核電場 5、6 號機組，以及防城港核電廠 3、4 號機組。預計將在 2019 年開始運轉的福清 5 號將成為首部投入運轉的華龍一號，接下來是防城港 3 號，另外兩部預計將於 2020 年開始運轉。

目前巴基斯坦的恰希瑪核電廠已有 4 部中國製 CNP-300 的核電機組，另外還有兩部華龍一號在巴基斯坦的卡拉奇（Karachi）核電廠，目前仍在建設當中。

中國國家原子能機構，2017/11/22

## 日本神戶製鋼所向日本原燃公司提供偽造數據的設備

日本核燃料公司──日本原燃（JNFL）於先前公開聲明，神戶製鋼所（Kobe Steel）向其核子相關設備提供了偽造數據的零件屬實，但該產品尚未被使用。日本原燃發言人在電話中表示，這些零件用於高速離心機中，來進行鈾濃縮作業，但發言人不願提供進一步的細節。發言人也提到，神戶製鋼所並沒有告知日本原燃這些零件存有安全疑慮。

神戶製鋼所在爆發竄改產品數據後其發言人隨後也證實，該公司偽造用於零件特殊塗層的數據，但並沒有發現任何安全問題。日本原燃是日本核工業界第 2 家收到竄改零件數據的公司，東京電力公司在更早些時候就接收了神戶製鋼所運送過來的導管，而這些管線並沒有接受適當的檢測。日本核能監管機構已經要求核電營運廠商檢查旗下核電廠是否使用神戶製鋼所製造的產品，而目前都未收到數據竄改影響到安全的報導。

Reuters, 2017/10/27

# 國內新聞

## 龍門電廠申請資產管理維護再延長 1 年

立法委員關切龍門（核四）電廠資產維護計畫（封存）申請再延 1 年，應有落日計畫與原能會應確實審查等，原能會就現階段對龍門電廠資產維護計畫的安全管制立場與作法如下：

台電公司龍門電廠目前的資產維護計畫將於今（2017）年年底屆期，台電公司正逐步進行資產的後續處理，針對龍門電廠的核燃料與重要設備的維護計畫，目前採逐年提報的方式辦理，明年度的維護計畫已於 8 月 31 日提送原能會審查。預定於年底完成審查後，將審查報告及台電公司所提資產維護計畫等資料上網公開。在資產維護期間，原能會也會持續派員執行視察，以監督台電公司做好相關作業，落實監督之責。

現階段因廠內仍有新燃料與反應爐等重要設備、組件，台電公司須審慎規劃執行必要維護管理措施，以確保核燃料與反應爐等重要設備的安全與品質。然而，除資產維護計畫外，龍門電廠後續的處理措施，就安全管制而言，還包括核燃料與反應爐的處理，均須依規定另提報計畫送原能會審核。

有關核燃料外運部分，原能會已要求台電公司於今年 9 月 29 日提報「核燃料運送計畫」與「安全管制計畫」，預定年底可完成審查，先行做好外運的前置準備。原能會將要求台電公司積極洽商國外核燃料廠家，並以今年底完成簽約，明年 6 月底開始啟動外運作業為規劃目標，儘快執行燃料外運作業。至於反應爐後續處理部分，原能會將要求台電公司依規定另提出相關計畫送審。

在非核家園政策下，台電公司如何儘速完成龍門電廠整廠包括核燃料及反應爐的處理，實為各界關心的議題。行政院已由政務委員邀集學者專家、公民團體及相關部會，成立非核家園推動專案小組，研商推動非核家園相關議題，其中也已要求台電公司應提出龍門電廠後續處理規劃時程，提報專案小組討論。

2017/11/08，本刊訊




▲ 龍門電廠主汽機設備乾式封存作業使用除濕機強制除濕，將乾燥空氣吹進主汽機內

# 與環境共生的**大地藝術**

照片提供・李蕢至　文字說明・邱瓊瑤



當經過北海岸的石門嵩山社區梯田時，可看見在翠綠山谷中有一座順勢蜿蜒的竹子結構，這就是台灣大地藝術創作者李蕢至於 2016 年參與「北海岸藝術祭」所創作的作品《嵩山竹曲》。

大地藝術（Land art 或 Earth art）是在自然環境中創作的藝術形式，最大的特色是注重自然景觀與藝術作品的聯繫與連結；創作材料大多為從自然環境取得的有機材料（如漂流木、竹、樹、石或是水等），或是直接從創作

的地點取材，當作品完成時不會改變原來的環境，讓人們的目光焦點能夠注意到原有的自然環境。

目前，台灣從事大地藝術的藝術創作者尚屬少數，然世界各國舉辦的國際大地藝術節或是環境藝術節等，早已成為年度性固定舉辦；邀集來自世界各國的優秀創作者共同參與的國際盛會，舉辦的地點有時是原始森林一隅、湖島、沙洲或白雪荒原。鄰近台灣的日本與韓國，近年也舉辦國際性的「大地藝術祭／環境藝術節」，邀請各國的藝術創作者以短期駐村，就地取材與創作。有時，藝術家們會彼此協助完成作品，或開放與當地居民參與協助，藝術作品完成後就地駐留，成為在地的文化資產，融入民眾的記憶與生活。

「大地藝術」的創作理念在台灣民眾的認知尚屬初萌期，有時因為作品的巧思創意，與大自然巧妙地融為一體，讓觀賞者完全視而不見而忽略作品的存在。本篇介紹的《嵩山竹曲》是國內重要的大地藝術家李蕢至於 2016 年創作的作品，經過一整年的大自然洗禮，竹材的顏色轉變成較為深褐色外，偌大的作品依舊安立在自然環境裡，迎著風互相敲擊出潤美的聲韻。

不到 40 歲的大地藝術家李蕢至是國內少數從事大地藝術創作的佼佼者，他的作品表現受到國際藝術媒體的關注並給予肯定與報導，歷年來在各國駐村創作的作品，一直受到當地與各國同期駐村藝術家的讚賞，駐村的邀約已規劃安排到兩年之後了。

不論大型或小型的大地藝術作品，不像平面的畫作或傳統立體的雕塑品一樣，容易在一



般藝術市場上以實體作品進行拍賣、購買或收藏，等待日後增值的可能性，而是在作品完成後以紀錄的形式存在。創作者的理念融合在材料的選擇以及造型樣式等，主要目的是提醒觀賞者省思自然、環境和生存其中的生物應有的樣態，處身於自然環境與作品時，能夠從內心尋找寧靜，並產生私我與空間的對話。

若有機會行經新北市石門的嵩山社區梯田時，請放慢腳步，探尋《嵩山竹曲》並聆聽風中竹柱所傳遞的細密耳語。

原子能委員會所製作的 2018 年年曆中，即選用了李蕢至藝術家《嵩山竹曲》的作品，分送給一般民眾欣賞，期待有更多人瞭解本土藝術創作的美。



▲位於新北市石門山區出磺口農場的《嵩山竹曲》

**2016 北海岸藝術祭**

作品名稱：嵩山竹曲
藝術家：李蕢至
尺寸：約 50m(L) x 15m(W) x 4.5m(H)
媒材：竹子
設置地點：新北市石門區嵩山社區梯田
(25°15'07.9"N , 121°33'56.7"E)

**作品說明**

「彎曲是直的必需，也是大河必經的過程。」在每次的轉彎之後，我們將發現更美麗的風景。

嵩山社區位於新北市石門區群山環抱的山谷中，這一片片依山勢蜿蜒而成的梯田，是先民的智慧結晶，也是與自然共存的最佳證明。《嵩山竹曲》作品以山、水與風三個自然元素，回應山中水梯田的文化風景。

竹子屬於山中環境的永續材，作品由竹子所構成，融入原有地景的同時回應環境永續的重要，並重現此區的梯田風貌。此外，出磺口農場長期對環境的友善與對里山倡議精神的堅持與此作品作一結合，讓作品不再只是一個雕塑，而成了這塊土地的一部分。

在這大山環抱的嵩山社區梯田中，由竹子組成的河流竄流於這山間土地上。它是此山的水脈，也是龍脈。山風吹響了書寫著先民智慧俚語與當地民眾故事和願景的竹管，高低錯落的竹子帷幕相互敲擊的聲響猶如進行一場古老的儀式，自然的音階迴盪在這片山間土地裡頭，藉由風傳遞此山中的故事與祝福，引領我們進入自然的遙想。一個人與自然之間靜謐的對話空間。

# 什麼是「放射性」和「輻射」五

文・朱鐵吉




A 放射性的活度與人的青春一樣，不是青春永駐而不變的，如圖 1 所示，放射性活度會隨著時間逐漸減弱。例如，現在 1 個活度為 100 貝克的鈷 60 射源，5.27 年後活度降到 50 貝克，輻射的放射率減少到一半。再過 5.27 年，活度降到 25 貝克。於是我們把活度降低到原來一半所經過的時間稱為半衰期。按照這個定義，鈷 60 的半衰期就是 5.27 年。

與動物的平均壽命相比，我們對半衰期的意思就容易理解了。動物的平均壽命依物種而異，人類的平均壽命約為 80 年，意味著同年生的同齡人經過 80 年後大約還有一半人活著。放射性物質的半衰期也因種類而有很大差別，有不到 1 秒的，也有像碲 128（$^{128}Te$）為 $1.5\times10^{24}$ 年的，而鐳的半衰期為 1,600 年。



阿伐（α）射線、貝他（β）射線和加馬（γ）射

表 1. 每 $3.7\times10^{10}$ 貝克（1 居里）的質量與半衰期的關係

| 放射性物質 | 每 1 居里（Ci）的質量 | 半衰期 |
|---|---|---|
| 碘 131 | 0.081mg | 8.05 天 |
| 鈷 60 | 0.87mg | 5.27 天 |
| 銫 137 | 11mg | 30 年 |
| 鐳 226 | 1g | 1,600 年 |
| 鈾 235 | 470kg | $7.038\times10^{8}$ 年 |
| 鈾 238 | 3,000kg | $4.5\times10^{9}$ 年 |

線是從組成放射性物質的原子（核）放射出來的，某個原子一旦放出輻射，就失去了放射性而「死」了，不再放出第二次輻射。這一點與蜜蜂一生只能螫一次很相似。由於組成放射性物質的原子的數量是有限的，而「死亡」的原子數隨時間而增加；反之，「還活著」的原子數目逐步在減少。輻射的放射率，換言之，放射性的活度隨時間而逐步減低也是這個道理。

如前所述，同為 1 克的放射性物質，其輻射的放射率因核種而異。輻射放射率大的放射性物質，「還活著」的原子的數量在短時間內就減少一半。所以，輻射放射率大的放射性物質，其半衰期就短。換言之，半衰期短的放射性物質，其活度就大；反過來說，在短時間內，活度就變少。

表 1 列出代表性的放射性物質活度相當於 3.7×10[10] 貝克時的質量以及與半衰期的關係。鈾 238 的放射性非常弱，因其半衰期極長，與地球的年齡相當。

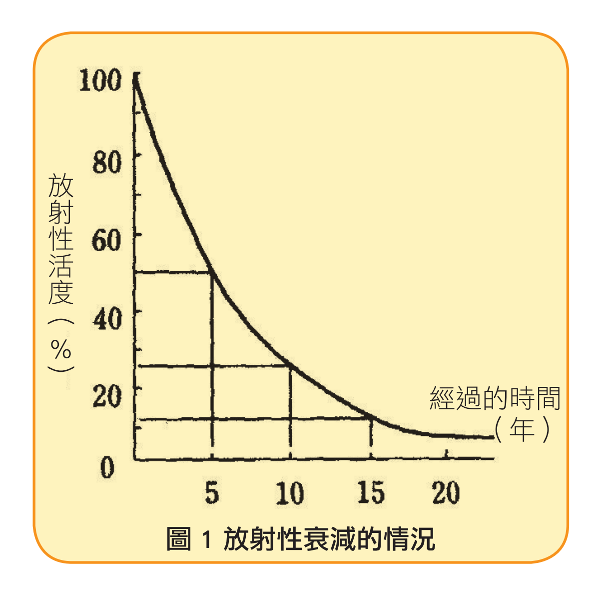


圖 1 放射性衰減的情況

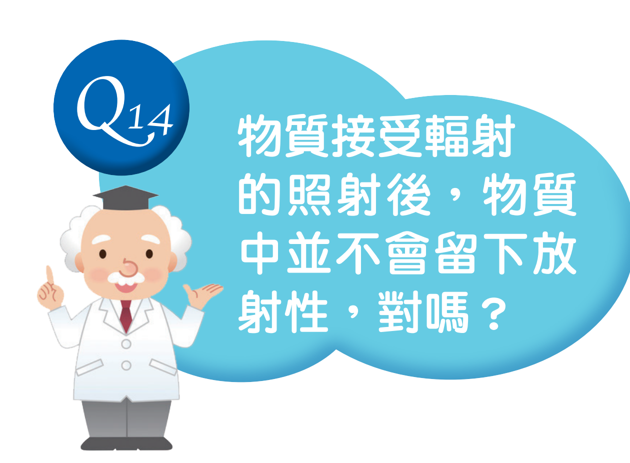


## Q13 放射性活度與輻射強度有什麼關係？

**A** 兩者的關係很大，它相當於光源的亮度與照度（以勒克斯為單位）的關係。放射性物質的量越多（放射性活度大），測量點與放射性物質之間的距離越短、則該點輻射的強度就越大。因此，即使放射性很強，只要離它較遠，輻射強度也會變弱。這一點跟地震震級與烈度之間的關係很相似。

例如：距離 1 居里的鐳 226 的輻射源 1 公尺處的輻射強度為 0.01 戈雷 / 時或 0.01 西弗 / 時。所以，如在該處停留 1 小時就會受到 0.01 西弗的劑量。

用鉛或混凝土等密度高的物質來屏蔽輻射，輻射就減弱。這與建築物中電磁波會減弱、收音機聽不清的現象，或者光被屏幕遮擋而減弱的情況相似。放射性物質通常放置或保管於鉛製的厚容器中，這與放射科的醫生或者輻射診斷治療的放射師們身上穿鉛圍裙的道理是一樣的。




A 說到放射性這一術語如果意思是指放射性物質，那麼結論是確定的。鈷 60 發出加馬射線平均能量不超過 1.5 百萬伏（MeV），照射物質之後，並不使物質中殘留有放射性物質（俗稱的「放射性」）。以前有一本暢銷書叫《危險的話》，書上說身體受到輻射之後，會殘留下放射性，大概有很多人相信那種說法，其實那種說法是錯誤的，是杜撰的概念。除非是用中子或很高能的帶電粒子照射物質，起了核反應。

為了防止馬鈴薯發芽，用鈷 60 這種放射性物質放射出來的加馬射線進行照射，如圖 2 所示，馬鈴薯與鈷並不接觸。這一點與用鈷

鈷 60 輻射源

γ 射線

馬鈴薯

**圖 2. 用鈷 60 輻射源照射馬鈴薯**

60 治療癌症或者用紫外線燈進行圓形脫毛症的紫外線治療法是完全相同的。這種輻射的照射方法基本上與紫外線照射或紫外線浴沒有什麼差別，不同的只是能量大一些而已。

照射用的鈷 60（輻射源）是固體金屬，為了防止萬一，它是封裝在不銹鋼管（容器）中的，即使鈷有破損也不要緊。從鈷 60 放射出來的射線很容易透過不銹鋼管到外部來，只要不銹鋼管不破損，放射性物質本身（俗稱「放射性」）是絕對不會洩漏到管外的。這和將螢火蟲放在透明的容器中，螢火蟲的光很容易地透過容器到外邊來，而螢火蟲本身不會到容器外邊來是同樣的道理。

通常一講到輻射照射，有人就會想像是將「放射性塵埃」那樣的粉末狀的放射性物質灑在被照射的物體上，這是很大的誤解。絕對沒有在人體的患部或食品中添加放射性物質這種事。

輻射不是添加物或藥劑那樣的物質，因此，對物質進行輻射照射時，不會在被照射的物質中留下輻射，也就是不會留下放射性物質。這種情況如同日光浴時紫外線或光線不會留在身上，微波爐加熱漢堡包時，微波不會留在漢堡包上，還有 x 射線攝影時，x 射線不會留在身體裡的情況一樣，這是同樣的科學道理。

上述使人困惑的、不該有的事應歸因於大眾傳播媒體很早就將「放射性」與「輻射」混淆使用，視為同義語造成的。長期亂用術語的結果是大多數國民深信放射性就是輻射。物質概念（俗稱的「放射性」）與能量概念（俗稱的「輻射」）理論應明確地加以區別。

如上所述，過去社會上有放射性就是放射性物質的固定想法，至今還沒有轉變過來。但是，這種固定想法是絕對不能繼續下去的。以前社會上把物質概念的「放射性」和能量概念

的「輻射」混同，恰如把「螢火蟲」與「螢火蟲的光」混同一樣。

那麼，輻射照射物質之後，究竟在物質中留下什麼？留下的是輻射的一些效應，如游離作用來滅菌、防止發芽，或破壞癌細胞等等。這種效應就如日光浴時，留在身上的是紫外線效應引起的曬黑；微波爐加熱漢堡包時留下來的微波效應是使溫度上升，這些都是同一個道理。

## Q15 輻射用於治療癌症或醫療器械的滅菌、防止馬鈴薯發芽、消滅害蟲等，其機制是什麼？

A 輻射照射物質之後，組成物質的原子或分子的電子就被擊出。其結果是切斷了分子間的化學鍵，於是原子或分子被游離。例如，水受到大量輻射的照射時則化合物的 H 與 O 的鍵被切斷，生成自由基的 H 和 O。

那麼，生物受到輻射的照射會發生什麼事情呢？首先，生物受到大量的輻射照射之後，切斷了組成生物的分子的化學鍵而被破壞。因此生物體的生物機能被破壞，以致細胞死亡。可以利用這一點來破壞癌細胞或微生物，進行癌症的治療或醫療器械的滅菌。紫外線有滅菌效果，輻射當然也有滅菌作用。

生物體內進行著複雜的生物化學反應，生物受到中等劑量的輻射照射之後，因生化反應產生變化，攪亂了激素分泌等生理與代謝機制。藉此積極利用輻射以防止馬鈴薯發芽和消滅害蟲。

以 60-150 戈雷的加馬射線照射馬鈴薯可以防止發芽而又不致死亡，這只是因攪亂其代謝機制而抑制發芽，處於休眠狀態。

用輻射消滅害蟲的方法是對害蟲（例如果蠅）預先做輻射照射，使之絕育從而消滅，這是一種很理想的方法。首先用加馬射線照射果蠅的蛹使其接受 50-70 戈雷的劑量，使它們的生殖機能被破壞，於是雄蛹無精子，雌蛹無卵子。這些蛹變為成蟲之後，雖然交尾卻不能繁殖後代。

大量飼養這些輻射不孕的害蟲之後，把它們放飛到野外，使之與野生的害蟲交尾，交尾後成蟲死亡，這樣除了部分都是野生的雄性與雌性有後代之外，與不孕的交尾者均無後代，於是害蟲的數量就減少。定期放飛飼養的不孕害蟲，經幾代之後害蟲就很快減少了，隨之消滅。果蠅就是用這種方法被減少的。

這種消滅害蟲的方法完全不用農藥，也不是用輻射直接把害蟲殺死，而是使之不繁殖而逐步消滅，正是一種「以蟲治蟲」的好方法。

（本文作者為清華大學原子科學系榮譽退休教授）

## 何博士的日常豆知識

**Q：如果核電廠失去冷卻水源而無法降溫，會不會像日本福島一樣發生核災啊？**

別擔心！日本福島核電廠會發生核災的原因之一，就是**冷卻系統失去電力，無法發揮效果**。

而台灣核電廠的建廠高度不但都高於可能發生的海嘯高度，且在高處都**設有生水池**，萬一有需要，也能**透過重力直接注水冷卻**，這是台灣核電廠和日本福島核電廠最大的不同之一！



**台灣核電廠已預先規劃好後備水源，可經重力或消防車動力注入反應爐，確保核能安全。**

## 何博士的日常豆知識

**Q：核電廠如果停電，會不會發生核災呢？**

日本311地震，**海嘯淹沒福島核電廠**，又破壞了緊急柴油發電機，使冷卻水無法送達爐心，才導致爐心熔毀造成核災。

台灣所有核電廠，都有 **5台以上柴油發電機**，高處亦備有**2台氣渦輪發電機**，更有**電源車**、**移動式發電機**、**移動式空壓機**等備用電源，緊急情況時可及時供應備用電力。



**台灣核電廠有多重後備電源，遇天災仍可提供有效電力，確保電廠安全。**